8°
Phys. g. Günther
152 r

NATURWISSENSCHAFTLICHE LEHRBÜCHER

F E

41 D

LEHRBUCH

DER

PHYSIKALISCHEN

GEOGRAPHIE

VON

DR. SIEGMUND GÜNTHER,
PROFESSOR AN DER K. TECHN. HOCHSCHULE IN MÜNCHEN.

MIT 169 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN UND
3 TAFELN IN FARBENDRUCK.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1891.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort.

Vor längerer Zeit hat der Unterzeichnete im gleichen Verlage ein grösseres Lehrbuch der physikalischen Geographie erscheinen lassen, allein dasselbe trägt, wie sich nicht leugnen lässt, mehr den Charakter eines Handbuches, und dieser Charakter wird bei der Neuauflage, zu welcher es nach Ablauf einiger Jahre mutmasslich kommen dürfte, sich noch schärfer ausprägen. Als deshalb die Verlagsbuchhandlung die Herausgabe eines kürzeren, wesentlich zum Gebrauche der Studierenden bestimmten Kompendiums wünschte, welches sich einer von ihr edierten Serie naturwissenschaftlicher Lehrbücher einreihen sollte, glaubte der Unterzeichnete dieser Anregung Folge leisten zu sollen, und so entstand das vorliegende kleinere Werk.

Der Begriff der physikalischen Geographie wurde diesmal ebenso weit gefasst, wie in jener älteren Veröffentlichung, weil nur *diese* Stoff-Umgrenzung dem Ganzen ein wissenschaftlich-einheitliches Wesen zu sichern scheint. Die Physik der Erde ist unter dem kosmologischen Gesichtspunkte nun einmal eine Unterabteilung, wenn auch aus naheliegenden Gründen die weitaus inhaltreichste, der Astrophysik, und insofern ist es angezeigt, eine kurze Uebersicht über letztere an die Spitze zu stellen. Auch die Lehre vom Erdinneren gehört in das System herein, denn aus dem Worte *Erdkunde* schon folgt, dass sie mehr als blosse *Erdoberflächenkunde* ist und zu sein beanspruchen darf. Dagegen ist die *biologische Geographie,* die Lehre von der geographischen Verbreitung der Organismen gänzlich ausgeschlossen worden, weniger deshalb, weil mit

ihrer Aufnahme der Umfang des Buches weit über das gebotene Mass hinaus angeschwollen wäre, als vielmehr aus dem sachlichen Grunde, dass die *Methode* dieses Wissenszweiges eine von der sonst allenthalben angewandten durchaus verschiedene ist. Die physikalische Geographie in der hier gewählten und durchgeführten Einschränkung ist das, was sie ihrem Namen nach sein soll, nämlich ein Grenzgebiet der Physik und der Geographie; Pflanzen- und Tiergeographie gegenteils stehen mitten inne zwischen Erdkunde und Naturgeschichte.

Wenn einzelne Abschnitte dieses Buches dem Leser zu weit ausgedehnt, andere zu kurz behandelt erscheinen sollten, so wolle derselbe bedenken, dass den Verfasser bei der Bearbeitung jener ganz bestimmte Erwägungen geleitet haben. Die Lehre von der Atmosphäre konnte, ja musste eine gewisse Kürzung sich gefallen lassen, nachdem als Bestandteil ebendesselben Unternehmens bereits ein „Lehrbuch der Meteorologie" aus der bewährten Feder *J. van Bebber*s ans Licht getreten ist. Auf der anderen Seite ist vielleicht manchem im vierten Abschnitte zu sehr in geologisches, nicht unmittelbar zur Geographie gehörendes Detail eingegangen worden, allein auch dies geschah nicht ohne Ursache. Dass der künftige Geograph einer tüchtigen *mineralogisch-geologischen Propädeutik* teilhaftig werden soll, das wird von allen Sachkennern unumwunden zugestanden, und es wäre vermessen, zu glauben, dass eine solche durch die nur allzu fragmentarischen Bemerkungen ersetzt werden könnte, welche der fragliche Abschnitt enthält. Allein, wie nun einmal die Dinge in unserem Vaterlande liegen, muss die Erreichung des oben bezeichneten Zieles vielfach noch ein frommer Wunsch bleiben; die meisten Studierenden, welche sich ernstlicher mit Geographie zu beschäftigen gedenken, treten von der historisch-philologischen Seite an sie heran, und die Anzahl der mathematisch-naturwissenschaftlich Vorgebildeten ist leider — in Süddeutschland wenigstens — eine verschwindend kleine. Da bleibt dem Lehrer nur übrig, es mit einer Schnelldressur zu versuchen, die er an sich nicht billigt, und welche durch eine bessere Art des Unterrichtes zu ersetzen, sein stets anzustrebendes Ziel bleiben muss; vorläufig jedoch ist aus der Not eine Tugend zu machen, und so mag das in Rede stehende Kapitel als ein wenigstens das Unentbehrliche umfassendes Repetitorium gelten und seine Schuldigkeit thun.

Mathematische Behandlung ist bei sehr vielen Problemen der

Geophysik nicht zu umgehen, und je weiter die Wissenschaft fortschreitet, um so zahlreicher werden die Gelegenheiten, an denen die Mathematik ihre Kraft erproben kann. So konnte auch hier auf die mathematische Formelsprache nicht verzichtet werden, doch drängt sich dieselbe, wie wir hoffen, nirgendwo unnötig in den Vordergrund.

Das Buch soll den Lernenden so weit führen, *dass er einen ausreichenden Ueberblick über unser augenblickliches Wissen auf physikalisch-geographischem Gebiete erhält.* Wenn aber dies erreicht werden sollte, so musste auch der *Hypothese* ihr Recht eingeräumt werden; sie ist für die deduktive Naturwissenschaft nicht etwa bloss ein augenblicklicher Notbehelf, sondern sie bietet auch die geeignete Grundlage für weiteres Vordringen in der Erkenntnis. Hypothesen dürfen aus keiner exakt sein wollenden Darstellung von mehr *als rein beschreibender Tendenz* verbannt werden, und eine Gefahr für die Wissenschaft schliessen sie nur dann in sich, wenn mit unbelehrbarer Zähigkeit der Schöpfer einer Hilfsvorstellung an diese sich anklammert und darüber den Kern der Sache aus den Augen verliert. Die Geschichte unseres Faches macht uns freilich mit nur allzu vielen phantastischen Ideen bekannt, und kaum ist anderwärts durch kühne Spekulation ohne Beobachtung und Rechnung so viel gesündigt worden, wie gerade hier. Den Mittelweg zwischen nüchternem Kleben an den Erfahrungsthatsachen und der Einzwängung letzterer in künstliche Systeme hat unsere Darstellung einzuhalten sich bemüht.

Von regelmässigen Verweisen auf die Litteratur ist abstand genommen worden. Wer frühere Schriften des Verfassers kennt, glaubt dessen Versicherung wohl, dass er nur ungerne und nur unter dem Drucke der Verhältnisse, indem sonst der verfügbare Raum allzu sehr überschritten worden wäre, auf die Beigabe von Zitaten verzichtet hat. Die wenigen, welche sich hie und da vorfinden, beziehen sich auf Publikationen, welche entweder nicht hinlänglich bekannt sind, oder aber für den Studierenden ein besonderes Interesse besitzen.

Zum Schlusse hat der Unterzeichnete noch der angenehmen Pflicht des Dankes zu genügen. Er schuldet solchen einmal der Verlagsbuchhandlung, welche alle seine Wünsche mit grösster Bereitwilligkeit erfüllte, und sodann zwei Freunden, welche ihm durch

Unterstützung bei der Korrektur und durch manchen wertvollen Wink sich hilfreich erwiesen haben: Herrn Dr. *L. v. Ammon,* k. Oberbergamtsassessor und Dozenten an der technischen Hochschule in München, und des Verf. ehemaligem Schüler Herrn *F. Adami,* k. Reallehrer in Bayreuth. Auch auf mehrere Verlagsbuchhandlungen und Autoren erstreckt sich unser Dank, welche aus ihnen gehörigen Werken Illustrationen in unser Buch herüberzunehmen gestatteten. Es sind diese: *Gauthier-Villars* in Paris (*Lemström, Traité de l'aurore boréale), L. Voss* in Leipzig (*Kiessling,* Dämmerungserscheinungen) und *O. Salle* in Braunschweig (*Schleiden-Voges,* Das Meer).

München, im Mai 1891.

Dr. Siegm. Günther.

Inhaltsverzeichnis.

I. Kosmophysikalische Einleitung 1—20.

Die Bewegungsformen der Erde 1. — Kometen und Meteorschwärme 3. — Beschaffenheit der Meteorite 4. — Beschaffenheit der Himmelskörper überhaupt 6. — Die Spektren der Fixsterne und der Sonne 7. — Kosmogonische Hypothesen 11. — Modifikationen der Theorie von *Kant-Laplace* 14. — Die Entwicklungsstadien der Weltkörper 15. — Zusammenfassender Rückblick 19.

II. Gestalt und Grösse der Erde; Gravitationserscheinungen 20—50.

Entwicklung der Lehre von der Kugelgestalt 20. — Aeltere Messungen des Erdumfanges 21. — Die Erde als Sphäroid erkannt 22. — Das Pendel als geodätisches Instrument 25. — Kombination von Grad- und Pendelmessungen 26. — Abweichungen der Erdgestalt vom Ellipsoide 28. — Unregelmässige Verteilung der Erdschwere 29. — Anderweite Mittel, die Schwere zu messen 32. — Bestimmung der Dichte der Erde 35. — Verteilung der Dichte und Schwere im Erdinneren 42. — Numerische Bestimmung der geoidischen Abweichungen 49.

III. Erdtemperatur und Erdinneres 50—63.

Insolationswärme und Eigenwärme der Erde 50. — Rückschluss auf das Innere der Erde 53. — Astronomische Gründe für die Starrheit der Erde 55. — Gasförmige Massen in den zentralen Partien der Erde 58. — Anordnung der Aggregatzustände im Erdinneren 59.

IV. Geognosie und Stratigraphie 63—98.

Die gesteinsbildenden Mineralien 63. — Klassifikation der Gesteine nach ihrer Entstehung 66. — Die gebirgsbildenden Gesteine 71. — Geologische Altersbestimmung 78. — Die geologischen Formationen 83. — Die azoische Gruppe 84. — Die paläozoische Gruppe 87. —

Die mesozoische Gruppe 90. — Die känozoische Gruppe 94. — Die Formationen in ihrer geographischen Bedeutung 96.

V. Bau und Entstehung der Gebirge; Geotektonik 99—125.

Konvexe und konkave Erdräume 99. — Die Erhebungstheorie 101. — Die Kontraktionstheorie 103. — Allgemeines über die Geometrie der Schichtstörungen 107. — Verwerfungen 109. — Fältelungen 111. — Fächerstruktur 118. — Kombination der einfachen Schichtstörungen 119. — Nachträgliche Verifizierung der Kontraktionstheorie 121.

VI. Hebungen und Senkungen 125—135.

Niveauveränderungen im allgemeinen 125. — Verschiebungen der Wasserlinie 127. — Kriterien einer Niveauverlegung 128. — Geographische Verteilung der positiven und negativen Strandverschiebungen 130. — Gründe der Uferlinienverschiebung 132.

VII. Vulkanische Erscheinungen 135—158.

Begriff des Vulkanismus 135. — Strato- und Domvulkane 136. — Uneigentliche Vulkane 140. — Eruptionsakt und Eruptionsstoffe 142. — Anordnung und geographische Verbreitung der Vulkane 148. — Theorie des Vulkanismus 153.

VIII. Erdbeben 158—175.

Beschreibung und Klassifikation der Erdbeben 158. — Verfolgung des Erdbebenverlaufes durch Instrumente 161. — Quantitative Bestimmung der Elemente eines Erdbebens 165. — Erdbebenfluten und Seebeben 169. — Erdbebentheorien 171.

IX. Das magnetische und elektrische Verhalten der Erde 175—211.

Gesteinsmagnetismus und Erdmagnetismus 175. — Elektrische Erdströme 177. — Die drei Elemente des Erdmagnetismus 180. — Methoden zur Bestimmung der Deklination 182. — Methoden zur Bestimmung der Inklination 188. — Methoden zur Bestimmung der Intensität 191. — Zeitliche Veränderungen der erdmagnetischen Elemente 193. — Räumliche Veränderung der erdmagnetischen Elemente; magnetische Kurven 194. — Theorie des Erdmagnetismus 199. — Das Polarlicht 205.

X. Die Atmosphäre und die in ihr sich vollziehenden Bewegungen 211 bis 245.

Zusammensetzung der Lufthülle 211. — Höhe der Atmosphäre 214. — Die Ausscheidungen der Atmosphäre 216. — Atmosphärische Elektrizität 221. — Lichterscheinungen in der Atmosphäre 225. — Die Bewegungsgesetze der Atmosphäre 233. — Zyklonale und antizyklonale Luftbewegung 238. — Winde mit vorherrschend vertikalen Gradienten 242. — Fortpflanzung der Gewitter 244.

XI. Klimatologie 245—271.

Definition des Klimas 245. — Die klimatischen Faktoren 247. — Klimatologische Kurven 249. — Phänologie 251. — Solares und physisches Klima 252. — See- und Landklima 255. — Tiefen- und Höhenklima 257. — Klima und Bewaldung 262. — Klima und Schnee 263. — Allgemeine Charakteristik der klimatischen Zonen 265. — Veränderungen des Klimas 269.

XII. Das Meer im Ruhezustande (ozeanische Statik) 272—293.

Verteilung von Land und Wasser 272. — Tiefenverhältnisse der Meere 274. — Bodenkonfiguration und Bodenbeschaffenheit 277. — Farbe und Durchsichtigkeit des Meerwassers 281. — Chemische Zusammensetzung und Dichte des Meerwassers 283. — Die Wärmeverhältnisse der Meere 287. — Das Eis des Meeres 290.

XIII. Das Meer im bewegten Zustande (ozeanische Dynamik) 294—324.

Klassifikation der Meeresbewegungen 294. — Windwellen 294. — Die Brandungswoge 298. — Stehende Schwingungen 300. — Allgemeines über Ebbe und Flut 303. — Geographische Charakteristik der Gezeiten 305. — Gezeitentheorien 307. — Die Gezeitenströme 311. — Die Flutwelle in den Flussmündungen 313. — Allgemeines über Meeresströmungen 314. — Geographische Verteilung der Meeresströmungen 316. — Hypothesen über die Entstehung der Meeresströmungen 321.

XIV. Die Gewässer des Festlandes 324—367.

Allgemeine hydrographische Bemerkungen 324. — Binnenseen 325. — Sümpfe und Moore 332. — Das Grundwasser 335. — Quellen 338. — Strömende Gewässer 354. — Ueberschwemmungen 365.

XV. Schnee und Gletschereis 367—400.

Die Schneegrenze 367. — Der Schnee als geographisches Element 369. — Lawinen 372. — Schnee, Firn und Eis 374. — Allgemeine Beschreibung eines Gletschers 375. — Geographie der Gletscher 378. — Physik der Gletscher 380. — Fortbewegung der Gletscher 383. — Die Auflösung der Gletscher 386. — Vorstoss und Rückgang der Gletscher 388. — Moränen 390. — Die Eiszeit 392. — Die Verhältnisse des Binneneises 395. — Eishöhlen 398.

XVI. Die zerstörenden Kräfte an der Erdoberfläche 401—434.

Charakteristik der aufbauenden und zerstörenden Kräfte 401. — Verwitterung und Humusbildung 402. — Erosion und Denudation im allgemeinen 406. — Ausgezeichnete Terrainformen als Proben der Denudation 407. — Erosion des Windes 415. — Erosion des fliessenden Wassers 417. — Glaziale Erosion 421. — Zerstörende Eingriffe des Meeres in das Festland 423.

XVII. Allgemeine und spezielle Morphologie der Erdoberfläche 434—500.

Orographie und Orometrie 434. — Die Wasserscheiden 444. — Theorie der Thalbildung 448. — Veränderungen der Flussläufe 460. — Bergstürze und Uferrutschungen 464. — Entstehung und Klassifikation der Seen 464. — Charakteristische geophysikalische Landschaftsbilder 472. — Die Küstenbildung 488. — Entstehung und Klassifikation der Inseln 494.

Schlusswort 500.

I. Kosmophysikalische Einleitung.

Die Bewegungsformen der Erde. Die Erde, welche wir bewohnen, ist, wie wir seit *Coppernicus* und *Kepler* wissen, nicht der Mittelpunkt des Weltalls, sondern ein Planet, der sich einerseits um seine Achse dreht, andererseits in einer geschlossenen, von einem Kreise nur sehr wenig abweichenden Kurve sich um das Zentralgestirn, die Sonne, bewegt. Da dieser letzteren, neueren Forschungen zufolge, auch noch eine eigene, ungefähr gegen das Sternbild des Herkules gerichtete Bewegung zukommt, so ist thatsächlich auch unsere Erde mit einer dreifachen Bewegung begabt: mit einer *rotatorischen*, mit einer *revolutorischen* und mit einer *translatorischen*. Es ist nicht gänzlich ausgeschlossen, dass mit der Zeit auch diese letztere Bewegungsform als eine solche erkannt wird, welche das physische Leben der Erde zu beeinflussen vermag, wie denn schon von *Poisson* die Meinung ausgesprochen worden ist, unser Planet gelange im Gefolge der Sonne abwechselnd in verschieden erwärmte Teile des Weltraumes, und diese ungleiche Erwärmung von aussen beeinträchtige die Wirkung der im wesentlichen konstanten Sonnenstrahlung. Für sehr wahrscheinlich kann man diese Ansicht nun freilich aus dem Grunde nicht halten, weil die Temperatur des Interstellarraumes, soweit sie durch *aktinometrische Versuche* bislang gemessen zu werden vermochte, unter allen Umständen eine überaus niedrige ist. Ungleich wichtiger sind jedenfalls die beiden anderen Bewegungen des Erdkörpers: die Achsendrehung, welche uns das absolut unveränderliche[1]) Zeitmass des in $24^h = 24.60^m = 24.3600^s$ zerfallenden *Sterntages* zur Verfügung gestellt hat, bringt den *Gegensatz von Nacht und Tag*, die Umwälzung um die Sonne, welche sich

[1]) Gegen diese Unveränderlichkeit ist neuerdings (s. u. in Abschnitt III) allerdings von verschiedenen Seiten Einsprache erhoben worden, allein irgend einen sicheren Beweis für die Behauptung, dass die Rotationsdauer *periodischen Schwankungen* unterliege oder gar sich *chronisch* verändere, hat man noch nicht erbracht. Man weist gewöhnlich auf gewisse Nichtübereinstimmungen der wirklichen Mondbewegung mit den für dieselbe berechneten Tafeln hin, um obige Behauptung zu stützen, allein *Schönfeld* hob bereits sehr richtig hervor, dass unsere Kenntnis des ungemein verwickelten Laufes unseres Trabanten nicht tief genug begründet sei, um nicht die erwähnten Unregelmässigkeiten den Tafeln selbst zur Last legen zu können.

in einem Jahre, also in einem Zeitraume von etwas weniger denn $365\frac{1}{4}^d$ vollzieht, bringt den die Beleuchtungs- und Erwärmungsverhältnisse einer gewissen Erdgegend regelnden *Gegensatz der Jahreszeiten* zuwege. Die näheren Umstände, wie dies geschieht, hat nicht die physikalische Geographie darzulegen; es ist dies vielmehr die Aufgabe der Schwesterdisziplin, der mathematischen Erdkunde, und auf deren Lehrbücher muss deshalb in dieser Beziehung verwiesen werden.

Das Planetensystem. Als Begleiter der Sonne ist die Erde, wie wir schon sahen, ein Bestandteil des grossen Planetensystemes, und es ist, um ihre Stellung in demselben richtig zu übersehen, notwendig, auch dessen übrige Mitglieder kennen zu lernen. Unsere Erde trennt die *unteren* von den *oberen Planeten,* deren äusserer Unterschied wesentlich darin besteht, dass jeder der letzteren von *Nebenplaneten* (Monden, Trabanten, Satelliten) auf seinem Wege um die Sonne begleitet wird, während bei den ersteren ein solcher Begleiter zur Zeit nicht bekannt ist. Es existiert aber aller Wahrscheinlichkeit nach noch ein zweiter, einschneidenderer Gegensatz zwischen beiden Gruppen, denn während für sämtliche obere Planeten, die Erde mitinbegriffen, der Tag, d. h. die zur Vollendung einer einzigen Umdrehung um die Achse beanspruchte Zeit, im Verhältnis zur Revolutionsdauer, zum Jahre, sehr kurz ist, scheinen nach *Schiaparellis* Beobachtungen, durch welche erstmalig in diese viel umstrittene Frage volle Klarheit gebracht wird, für die unteren Planeten, *Merkur* und *Venus,* diese Zeiträume *ganz oder doch annähernd gleich zu sein*, so dass also beide Himmelskörper der Sonne und, als teilweise verdunkelte Kugeln, auch der Erde immer die nämliche Seite zuwenden würden. Die oberen Planeten sind, von der Erde an auswärts gerechnet, die folgenden: *Mars,* umgeben von zwei überaus kleinen, dem Planeten sehr nahe stehenden Monden, die *Planetoiden* [1]), *Juppiter*, umgeben von vier ziemlich lichtstarken Monden, zu deren Erkennung schon ein ganz gewöhnliches Fernrohr ausreicht, *Saturn,* Mittelpunkt der Bahnkreise seiner sieben Satelliten und zugleich eines konzentrisch frei schwebend die Planetenkugel umgebenden, selbst aber mehrfach geteilten Ringes, *Uranus,* den sechs Trabanten begleiten, und endlich *Neptun,* ein überaus weit (4475 Millionen Kilometer) von der Sonne entfernter Stern, an dem *Lassels* Riesenteleskop nur einen einzigen Mond zu erkennen im stande war. Abgesehen von den Planeten, gehören zu unserem solaren Systeme noch andere Weltkörper, die sich ihrem äusseren Ansehen nach von jenen erheblich unterscheiden, für unser kosmo-

[1]) Die Anzahl dieser winzigen Weltkörperchen, für welche auch die Bezeichnung als *kleine Planeten* oder *Asteroiden* im Gebrauche steht, wächst noch stetig; im Augenblicke, d. h. seit *Palisas* letzter Entdeckung, sind ihrer ungefähr 299 bekannt — ungefähr deshalb, weil bei einzelnen derselben die Identität noch nicht festgestellt werden konnte. Es ereignete sich schon zum öfteren, dass ein und derselbe kleine Planet eine Zeitlang zwei verschiedene Namen getragen hat.

physikalisches Wissen aber aus dem Grunde eine sehr hohe Bedeutung erlangt haben, weil sie mit unserem Erdkörper ab und zu in unmittelbare Berührung treten.

Kometen und Meteorschwärme. Auf den ersten Blick besteht zwischen den langgestreckten *Schweifsternen* oder *Kometen,* die nur als seltene und gelegentliche Gäste am Himmelsgewölbe erscheinen, und den *Meteoriten,* welche als *Sternschnuppen* oder — bei besonders starker Leuchtkraft — als *Feuerkugeln* vom Himmel fallen, keinerlei Verwandtschaft, allein vor dem schärferen Blicke des Forschers hat sich eine solche, und zwar eine sehr nahe, herausgestellt. Geahnt hatte eine solche bereits der deutschböhmische Astronom *Morstadt,* zur Gewissheit aber wurde sie erst durch den auf rechnerischem Wege geführten Nachweis *Schiaparelli*s. Derselbe lieferte nämlich die erste *Bahnbestimmung eines Meteorschwarmes.* Man hatte schon seit geraumer Zeit regelmässig wiederkehrend die Wahrnehmung gemacht, dass zweimal in jedem Jahre, im August und im November, die Sternschnuppen in grösserer Fülle, als sonst irgendwann, erscheinen, und zwar scheinen sie in den erwähnten Zeitpunkten *raketenartig* von einer gewissen Oertlichkeit des Firmamentes, dem *Radiationspunkte,* ausgesendet zu werden, der das eine Mal im Sternbilde des Perseus, das andere Mal in demjenigen des Löwen gelegen ist; die beiden Meteorschauer führen nach diesen ihren Ausgangspunkten bezüglich die Namen der *Perseiden* und *Leoniden.* Indem nun *Schiaparelli* die Bahn der Perseiden berechnete, erkannte er, dass dieselbe elliptisch, mit der Sonne im Brennpunkte, sei und dass sie bezüglich der *Elemente* (Bestimmungsstücke) vollständig mit derjenigen des hellen Kometen vom Jahre 1862 übereinstimme. Nunmehr musste es wünschenswert erscheinen, dieselbe Untersuchung auch auf den Schwarm der Leoniden auszudehnen, was denn auch — gleichzeitig, aber in gegenseitiger Unabhängigkeit — durch *Leverrier* und *Schiaparelli* selbst geschah. Es ergab sich, dass diesmal die Bahnkurve sich mit derjenigen des sogenannten *Tempel*schen [1]) Kometen von 1866 deckte. Bald darauf ward eine dritte, merkwürdige Bestätigung des durch Induktion gefundenen Lehrsatzes bekannt. Selbstredend gibt es ausser den schon erwähnten Meteorringen, die nur eben ganz besonders in das Auge fallen, deren noch mehrere, und von diesen ist wieder einer der bemerkenswertesten derjenige der *Lyraiden*, welcher aus dem Sternbilde der Leier hervorzukommen scheint. *E. Weiss* zeigte, dass diese Lyraiden in der nämlichen Bahn einhergehen, wie ein Komet des Jahres 1861. Seitdem sind noch andere Analogien dieser Art aufgefunden worden, und die Sternkunde durfte den nachstehenden Satz aussprechen:

Die Kometen können als Aggregate der sehr kleinen kosmischen Körper, welche man Meteorite nennt, aufgefasst werden, und umgekehrt

[1]) Den einzelnen Schweifsternen wird sehr häufig der Name des Gelehrten beigelegt, der ihn entdeckte oder doch seine Bahn zuerst bestimmte.

sind die Meteorschwärme nichts anderes, als aufgelöste Kometen, deren frühere Bestandteile sich jetzt längs der ganzen Bahn verstreut zeigen.

Dasjenige, was für unsere besonderen Zwecke von dieser allgemeinen Wahrheit als das wichtigste erachtet werden muss, ist die Erkenntnis, dass die bekannten Meteorsteine, wie sie zu hunderten in unseren mineralogischen Kabinetten sich finden, keine Produkte unserer Erde, dass sie auch nicht, wie man seinerzeit wohl glaubte, *Auswürflinge der Mondvulkane* [1]) sind, sondern dass sie, ehe sie sich mit unserem Planeten vereinigten, eine kosmische Sonderexistenz geführt haben. Indem sie der Erde nahe genug kamen, um der Attraktionskraft derselben anheimzufallen, stürzten sie auf sie herab, während bei dem rapiden Durchschneiden der Atmosphäre der kleine Körper sich bis zum Selbstleuchten erhitzte. Die schwarze Schmelzrinde, mit welcher sich die grosse Mehrzahl der fallenden Sterne überzogen zeigt, spricht deutlich genug für die Richtigkeit dieser Annahme.

Beschaffenheit der Meteorite. Diese Körper gewähren uns dem Gesagten zufolge die Möglichkeit, uns durch *unmittelbare chemische Analyse* von der inneren Zusammensetzung kosmischer Gebilde zu überzeugen, während uns im übrigen (s. u.) bezüglich der *Chemie der Himmelskörper* selbstverständlich nur indirekte Methoden zur Verfügung stehen. Hervorragende Forscher haben denn auch in diesem Sinne gearbeitet, und wir sind verpflichtet, eine Uebersicht über die Resultate dieser Arbeiten zu geben.

Roses Einteilung will zwischen *Eisen-* und *Steinmeteoriten* unterschieden wissen, Formen, welche schon durch die Nomenklatur genügend gekennzeichnet erscheinen, die aber trotzdem keinen durchgreifenden Gegensatz ausdrücken, da es an Uebergängen nicht fehlt. Die weitaus grössere Mannigfaltigkeit der Bestandteile würde den — als Individuen vergleichsweise seltenen — Steinmeteoriten eignen. Von *Daubrée* wird weit weniger als auf die mineralogisch-petrographische Beschaffenheit vielmehr auf das spezifische Gewicht der Meteoritenstoffe Bedacht genommen; er nennt *Holosideriten* diejenigen Klumpen, deren Dichte zwischen 7 und 8, *Sporasideren* diejenigen, deren Dichte von 3 bis 7 schwankt, und *Asideren* endlich diejenigen, deren noch grössere Leichtigkeit den Mangel jedweden Eisengehaltes verrät. *Nickel* und *Kobalt* sind übrigens Elemente, von denen Spuren wohl in allen bisher untersuchten Meteoriten nachzuweisen gelungen ist; nicht minder trifft man in denselben

[1]) Die Frage, ob es auf dem Monde noch thätige Vulkane gäbe, und ob deren Emissionsprodukte bis zu uns herab gelangen könnten, wurde vor hundert Jahren noch, u. a. von *Olbers*, sehr ernsthaft erwogen. Seitdem ist man (s. u.) zu der Ueberzeugung gelangt, dass ersteres nicht zutreffe, allein selbst diesen überaus unwahrscheinlichen Fall gesetzt, würden den vulkanischen Bomben ganz ungeheure Anfangsgeschwindigkeiten zugeschrieben werden müssen, um die neutrale Fläche zu überschreiten, für deren sämtliche Punkte die Anziehungskräfte von Mond und Erde sich gerade die Wage halten. Auf der doch viel grösseren Erde ist an solche Intensität der vulkanischen Kraft nicht zu denken.

vielfach diejenigen Mineralien an, welche bei dem Aufbau unserer Erdgebirge eine hervorragende Rolle spielen, wie *Quarz, Augit, Anorthit* u. s. w. Neue Grundstoffe, welche eine Bereicherung der aus lediglich irdischen Vorkommnissen heraus konstruierten Tafel der Elemente erkennen liessen, sind in den Meteoriten nicht vorhanden, wohl aber manche in dieser Anordnung der Bestandteile bisher unbekannte Mineralien, von denen eines nach seinem Darsteller den Namen *Daubréelit* empfangen hat. Durch Schmelzung von Meteoriten des gewöhnlichen Typus bekommt man stets die nämlichen zwei Hauptmineralien, *Olivin* und *Enstatit.*

Mit Rücksicht auf diese Thatsache suchte *Daubrée* die Meteorite *synthetisch* nachzubilden, und es gelang ihm. Indem er beide genannte Mineralien im Thontiegel schmolz, wobei anderweite Reduktionsmittel teils gar nicht, teils allerdings in genau bestimmter Weise zur Anwendung gebracht wurden, erzeugte er schlackenartige Massen, in der Hüttenindustrie als „Eisenkönige“ bekannt, welche den Sideriten äusserlich glichen und auch bei geeigneter Behandlung die charakteristischen *Widmanstätten*schen Figuren hervortreten liessen. Dieselben werden bei den allermeisten Meteoriten — es ist nur eine einzige ganz sichergestellte Ausnahme bekannt — dadurch erzeugt, dass man eine ebene Bruchfläche des Körpers anschleift, poliert und alsdann verdünnte Schwefelsäure damit in Verbindung bringt, unter deren Einwirkung sich auf der Fläche bald ein eigentümliches Liniennetz heraushebt. Aber auch durch teilweise Oxydation von Siliziumverbindungen wurden künstliche Meteorite erzeugt, und es ward somit jeder Zweifel darüber entfernt, dass dieselben mechanischen und chemischen Kräfte, welche wir uns als im Weltraume wirksam zu denken haben, auch innerhalb des Laboratoriums ausgelöst werden können; damit aber hat die an sich ja nicht ferne liegende Annahme, dass die uns geläufigen Begriffe von Kraft und Stoff auch ausserhalb der Erde diese ihre gewohnte Bedeutung beibehalten, sehr an Wahrscheinlichkeit gewonnen.

Was Grösse und Gewicht der auf die Erde niedergefallenen Meteormassen anlangt, so schwanken dieselben zwischen ziemlich weit auseinander liegenden Grenzen. Meistenteils werden nur kleine Brocken, Bruchstücke einer grösseren, aber vielleicht schon vor dem Auftreffen aufgelösten Masse aufgehoben, resp. aus den durch den Fall entstandenen Löchern ausgegraben [1]); dann und wann jedoch sind auch schon wahre Meteorfelsen gefunden worden. Der grösste unter diesen wäre, wenn sein meteorisch-kosmischer Ursprung als ein vollkommen beglaubigter gelten dürfte, der etwa 20 000 kg wiegende Block von Ovifak (Grönland); ihm am nächsten kommt der Meteorit von Durango (Mexiko) mit einer Schwere von fast 20 000 kg und der von Bemdego (Brasilien) mit einer Schwere von 9600 kg.

[1]) Ob der von *A. E. v. Nordenskiöld* auf dem grönländischen Inlandeise gefundene feine Staub, *Krykonit* genannt, wirklich als *Meteorstaub* angesprochen werden darf, das scheint noch unentschieden.

Auch diese Meteorkörper sind von Hause aus mutmasslich noch viel grösser gewesen; *Daubrée* weist darauf hin, dass Fragmente solcher Riesenblöcke vielleicht in ziemlich grosse Entfernung von dem Orte, von welchem die Hauptmasse niederging, verstreut sein können.

Beschaffenheit der Himmelskörper überhaupt. Stücke der anderen Himmelskörper können wir freilich nicht in unsere Retorten bringen, allein demungeachtet besitzen wir ein Hilfsmittel, welches uns aus dem Lichte, das die Gestirne uns zusenden, sichere Schlüsse auf deren chemische Konstitution zu ziehen gestattet. Dies ist die *Spektralanalyse*, welche im Jahre 1859 der Physiker *G. Kirchhoff* und der Chemiker *Bunsen* derart gemeinsam erfunden haben, dass spätere Geschichtschreiber wohl kaum je die dem einen und dem anderen der beiden Erfinder zukommenden besonderen Verdienste gegeneinander abzuwägen vermögend sein werden. Massgebend für diese Methode ist das Naturgesetz der *Gleichheit von Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen* eines Stoffes, ein Gesetz, dessen Wesen sich folgendermassen in Worte fassen lässt:

Jeder im gasförmigen Aggregatzustande sich befindende Stoff verschluckt die auf ihn fallenden Strahlen einer bestimmten Wellenlänge n dann, wenn er selbst, ins Glühen versetzt, Lichtstrahlen von der Wellenlänge n aussendet, während er Lichtstrahlen, deren Wellenlänge $\gtrless n$ *ist, mit nur geringem Verluste den Durchgang verstattet.*

Das spektralanalytische Verfahren besteht nun darin, dass man ein Parallelstrahlenbündel des Lichtkörpers, welchen man zu prüfen wünscht, durch ein grades Glasprisma von dreieckigem Querschnitte [1]) hindurchgehen lässt und das so entstehende, verbreiterte Lichtbild auf einer Wand oder in einem eigenen Beobachtungsfernrohre auffängt. Zunächst untersucht man die Spektren der Elementarstoffe in der Weise, dass man in einer Bunsenflamme kleine Quantitäten dieses Stoffes zum Verdampfen bringt; das Licht der Flamme erscheint alsdann *einfarbig*, und an Stelle des *kontinuierlichen Spektrums*, welches ein glühender fester oder tropfbar-flüssiger Körper liefert, zeigt sich ein *diskontinuierliches* oder *Gas-Spektrum*. Dasselbe besteht regelmässig aus leuchtenden Farbenstreifen, die von dunklen Zwischenräumen getrennt werden, und je aus der Art der Farbe, sowie aus der Aufeinanderfolge von hellen und lichtlosen Banden kann man erkennen, welcher Stoff in der Flamme verflüchtigt ist. So ergibt beispielsweise *Natrium* eine einzige, glänzend orange gefärbte Linie, welche sich allerdings durch schärfere Beobachtung in eine Doppellinie zerlegen lässt, *Lithium* ist durch eine schön rot und eine in weit matterem Lichte leuchtende orangegelbe Linie charakterisiert, und in diesem Sinne hat man von den sämtlichen Elementen, die man kennt, und deren Entdeckung teilweise eben erst durch die Spektralanalyse möglich gemacht ward, die Spektren dargestellt und genau beschrieben. Wir denken uns nun weiter einen von uns beliebig weit entfernten Körper, der sich entweder selbst in glühend-gasförmigem Zustande befindet, oder um den sich

doch eine Hülle von leuchtenden, d. h. glühenden Gasen und Dämpfen herumlegt. Das von einem glühenden Metalle herrührende Licht muss diese Hülle passieren, ehe es zu unserem Auge gelangt, und zum grossen Teile wird es letzteres auch wirklich thun, zum kleineren Teile aber wird es von jenem Gasmantel zurückgehalten werden, da dem oben erwähnten Theoreme zufolge gleichwelliges Licht sich gegenseitig neutralisiert. Das vom Natrium kommende Licht wird in den Natriumdämpfen, das vom Rubidium kommende wird in den Rubidiumdämpfen sozusagen hängen bleiben, und an der Stelle, wo sich eigentlich die den betreffenden Stoff markierende gefärbte Linie (s. o.) zeigen müsste, wird ein gleich breiter dunkler Streifen sich zeigen, da eben das diesem Orte zugehörige Licht vorher weggenommen, ausgelöscht worden ist. Damit ist ein weiterer physikalischer Schluss begründet:

Wenn eine Umkehrung des Spektrums eintritt, d. h. wenn diejenige Stelle des Spektrums, welcher der farbige Streifen eines gewissen chemischen Elementes entsprechen sollte, durch einen schwarzen Streifen eingenommen ist, so weiss man, dass das Licht, welches das Spektralbild erzeugte, durch eine, eben dieses Element im gas- resp. dampfförmigen Zustande enthaltende Atmosphäre hindurchgegangen ist.

Zwischen der Erde und dem fraglichen Körper befindet sich im vorliegenden Falle einerseits nur die irdische Atmosphäre und dann die des Himmelskörpers selbst [1]). Von vornherein wäre demgemäss ein Zweifel gestattet, in welcher von beiden Lufthüllen die Absorption sich thatsächlich vollzieht, allein da man durch anderweite, im meteorologischen Abschnitte zu besprechende Studien sowohl über die Bestandteile unserer Erdluft als auch über die unter gewissen Verhältnissen von derselben hervorgerufenen Absorptionsstreifen völlige Klarheit erlangt hat, so kann man mit untrüglicher Sicherheit als den Sitz der absorbierenden Gase und Dämpfe die Atmosphäre des bezüglichen Weltkörpers ansprechen. Solchergestalt hat man ermittelt, dass sehr viele der irdischen Elemente auch bis in die entlegensten Fernen der Fixsternsphäre hinein bei der Zusammensetzung der Weltkörper beteiligt sind. Wir wollen die Aufschlüsse, welche uns das Spektroskop bezüglich deren Konstitution gegeben hat, nunmehr in ihren Grundzügen kennen lernen.

Die Spektren der Fixsterne und der Sonne. Die beiden Engländer *Huggins* und *Miller*, der Nordamerikaner *Rutherfurd* und der Italiener *Secchi* sind es gewesen, denen man hauptsächlich diese Aufschlüsse verdankt. Zumal der letztere hat durch die Aufstellung

[1]) Hiermit würde allerdings die *Leere des Himmelsraumes* ausgesprochen sein, wogegen manche Physiker und Astronomen der Ansicht huldigen, dass der *Aether*, ein Medium von alleräusserster Feinheit, alle Zwischenräume zwischen den einzelnen Gestirnen ausfülle und sich in der Verkürzung der grossen Bahnachsen, welche man bei manchen Kometen von geringer Umlaufszeit konstatiert haben will, auch äusserlich kundgebe. *Encke* zumal trat mit grosser Wärme für diese von ihm aufgestellte Hypothese ein, die Rechnungen *v. Astens* und *v. Härdtls* aber haben dieselbe keineswegs bestätigt.

von *vier Fixsterntypen,* denen man jeden neuen Fund meist ganz ungezwungen einreihen kann, eine höchst bequeme Basis für diese ganze Forschungsrichtung geschaffen.

Der erste Typus ist der Individuenzahl nach bei weitem der zahlreichste, er umfasst die gute Hälfte aller überhaupt sichtbaren Fixsterne und zumal die meisten durch hellen Glanz ausgezeichneten, wie Sirius, Regulus, Rigel, Wega, Atair u. s. w. Das Licht dieser Sterne ist weiss mit bläulichem Schimmer, das sogenannte *ultraviolette Spektrum*[1]) ist kräftig entwickelt. Neben einer Menge metallischer Linien, deren man trotz ihrer grossen Lichtschwäche bereits ein paar hundert nachgewiesen hat, weist das Spektrum besonders *vier breite und dunkle, durch Absorption des Wasserstoffes entstandene Banden* auf. Man darf auf solchen Befund hin wohl annehmen, dass diese Sterne überhaupt eine Gasmasse von überaus hohem Hitzegrade darstellen; die Scheidung der einzelnen Gase nach deren individuellem Charakter ist vielleicht erst wenig fortgeschritten[2]), so dass bloss das durch seine minimale Dichtigkeit ausgezeichnete Wasserstoffgas bereits als solches in den obersten Schichten der glühenden Gaskugeln sich bemerklich macht.

Wesentlich von derselben Art, wie von unserer *Sonne,* sind die Spektren der dem zweiten Typus *Secchis* zuzuweisenden Sterne; diese selbst, von denen wir nur Kapella, Aldebaran und Arktur nennen wollen, sind gelblich-weiss. Man bemerkt in diesen Spektren ein durch zahlreiche oder, richtiger gesagt, zahllose dunkle Parallelstreifen von verschiedener Dicke unterbrochenes Farbenbild, in welchem man mit *Newton,* der bekanntlich die Spektralerscheinungen zuerst eines sorgfältigen Studiums würdigte, vom mindest brechbaren Ende an die sogenannten *sieben Regenbogenfarben* — Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett — unterscheiden kann. Jene dunklen Streifen hatte *Newton* noch nicht bemerkt oder, was wahrscheinlicher, keiner ausdrücklichen Erörterung wert gehalten; auf ein paar derselben machte *Wollaston* im Jahre 1802 aufmerksam, aber erst *Fraunhofer* erkannte deren grosse Bedeutung. Derselbe zählte ungefähr 600 solcher Unterbrechungen des Lichtbandes, welche seitdem als *Fraunhofersche Linien* bekannt genug geworden sind, und fixierte von 324 derselben durch Theodolitmessung den genauen Ort. Man ist später auf diesem Wege weiter fortgegangen, und zumal *Angström* hat einen detaillierten Katalog der Fraunhoferschen Linien ausgearbeitet, der für weitere Untersuchungen in diesem Teile der Optik ungefähr dieselben Dienste leistet, wie eine genau

[1]) Das Spektrum ist, wie insonderheit die Messung mit dem Bolometer (s. u.) darthat, viel ausgedehnter, als das menschliche Auge unter normalen Bedingungen wahrnimmt; das ultrarote Ende macht sich durch seine Wärmewirkungen, das ultraviolette durch seine chemischen Wirkungen bemerkbar. Durch verschiedene Mittel, wie durch Abblenden des sichtbaren Teiles, sowie auch durch die von *Lommel* in grösserem Masstabe angewandte Photographie ist man dahin gelangt, diese Ausläufer auch für das Auge erkennbar zu machen.

[2]) Näheres über diese Entwicklungsstadien der Gase wird weiter unten, wenn von der inneren Beschaffenheit der Erde die Sprache ist, beizubringen sein.

gezeichnete Landkarte beim Eintragen einer Reiseroute. Was sich bei der spektralanalytischen Prüfung des Sonnenlichtes im einzelnen ergab, soll gleich nachher dargelegt werden.

Fast ausschliesslich rote und in ihrer Lichtstärke Veränderungen unterworfene Sterne, wie Beteigeuze und Mira Ceti, bilden die dritte der *Secchi*schen Klassen. Das Spektrum ist, wie man sich neuerdings ausdrückt, ein *kanneliertes;* sieben bis acht gefärbte Lichtbänder stehen nebeneinander, wie die Säulen einer von einer bestimmten Seite her beleuchteten Säulenhalle, so dass also jede derselben nur teilweise beleuchtet, teilweise aber beschattet erscheint. Das Licht scheint vom roten Ende her einzufallen. Es liegt in diesem Falle nicht ferne, an die absorbierende Wirkung grösserer Wolkenmassen zu denken, und zwar würden die den Lichtverlust bedingenden Stoffe den *Metalloiden* unserer terrestrischen Chemie entsprechen.

Ein kanneliertes Säulenspektrum eignet auch den Sternen des vierten Typus, welche eine tiefrote Farbe, aber ausnahmslos nur eine ganz geringe Lichtintensität besitzen, auch der Zahl nach den übrigen gegenüber fast verschwinden. Behalten wir den Vergleich eines Portikus von vorhin bei, so fällt diesmal das Licht vom violetten Ende her auf die Säulen. Schon *Secchi* hielt dafür, dass in den Atmosphären der so beschaffenen Sterne der Kohlenstoff vorwiege, und *H. C. Vogel* pflichtete ihm in diesem Punkte bei. Allerdings muss dieser Kohlenstoff sich in einer anderen Art der molekularen Konstitution befinden, als wir sie an ihm gewöhnt sind, da nämlich, wenn dem nicht so wäre, die Banden hell erscheinen würden (s. u.).

Wir kommen jetzt, wie besprochen, auf den Zentralkörper unseres Planetensystemes zurück und fragen nach den Grundstoffen, welche die Spektralanalyse in ihm erkannt hat. *Nahezu sämtliche Elemente der irdischen Chemie kommen auch in und an der Sonne vor.* Schon gleich zu Anfang ihrer Untersuchungen stellten *Kirchhoff* und *Bunsen* das Vorhandensein von Eisen, Magnesium, Kalzium, Natrium und Chrom in grösserer, von Kupfer, Zink, Barium, Nickel und Kobalt in geringerer Menge fest, und später wurde diesem Verzeichnisse noch mancher andere Bestandteil hinzugefügt. Bezüglich einzelner Materien bestehen noch Zweifel, aber von Gold und Silber kann es als sicher gelten, dass diese beiden Edelmetalle dem Sonnenkörper gänzlich fehlen. Man richtete von den sechziger Jahren an sein Augenmerk besonders auf die *totalen Sonnenfinsternisse,* für deren Dauer am Rande der verfinsternden Mondscheibe gewisse sehr merkwürdige Erscheinungen auftreten, welche sich ausserdem der Beobachtung entziehen, und sah sich so zu einer neuen Auffassung der Konstitution des Sonnenballes in seinen peripherischen Regionen geführt. Ob die Sonnenkugel als solche fest oder tropfbar-flüssig ist, muss dahingestellt bleiben; jedenfalls wird sie von einer mächtigen *Photosphäre*, als dem Analogon der viele Planeten umhüllenden Atmosphäre, umgeben, in welcher durch aufsteigende Gas- und Dampfströme unaufhörlich die heftigsten Wallungen erzeugt werden,

Bewegungen, die sich in einem gewissen selbständigen, von der Achsendrehung der Sonne unabhängigen Fortschreiten der *Sonnenflecke* und *Sonnenfackeln* auch dem Erdbewohner bemerklich machen. Um diese Photosphäre aber legt sich als konzentrische Kugelschicht von grösserem Radius die sogenannte *Chromosphäre* herum, deren Dasein man zuerst nur bei totalen Verfinsterungen zu erkennen vermochte, deren spektroskopische Erforschung *Lockyer* aber später zu jeder Zeit vorzunehmen lehrte, indem er die zentralen Sonnenstrahlen in geeigneter Weise abblendete. Im Bereiche dieser Chromosphäre sind zweifellos die bekannten *Protuberanzen* zu suchen, blassrötliche Auszackungen von oft sehr beträchtlicher radialer Erstreckung, welche man, seitdem *Janssen* das Spektroskop auch hierfür aptierte, ebenfalls ohne das früher unumgängliche Hilfsmittel einer Sonnenfinsternis beobachten kann, und in denen man, seitdem *Zöllner* umfängliche Beobachtungen dieser Gebilde mitgeteilt hat, gewaltige Eruptionen von erhitztem Wasserstoffgase erblicken zu dürfen glaubt. Aber auch mit der Chromosphäre und den Protuberanzen ist die Aufzählung der Teile des Sonnenkörpers noch nicht erschöpft, vielmehr hat man noch jenseits der ersteren in starken Fernröhren einen eigentümlichen Glorienschein, die sogenannte *Korona,* wahrgenommen, welche im Augenblicke der Totalität einer Sonnenfinsternis, wenn also die Mittelpunkte von Sonne, Mond und Erde genau in grader Linie liegen, die Chromosphäre nach aussen zu umgibt. Das unbestimmte Strahlenzucken in dem weisslich-grünen Lichtmantel der Chromosphäre gemahnt einigermassen an das Polarlicht, mit dem wir uns im neunten Abschnitte zu beschäftigen haben werden, und thatsächlich stimmt auch eine Linie des Koronenspektrums mit einer der merkwürdigsten hellen Linien des Nordlichtspektrums nach Lage und Farbe überein. Im übrigen aber ist das erstgenannte Spektrum schwer zu deuten; erst nachdem *Schuster* die Korona bei der grossen Finsternis vom 17. Mai 1882 photographiert und nachdem *Huggins* die Herstellung derartiger Photogramme auch bei hellem Sonnenscheine ermöglicht hatte [1]), besonders aber nachdem durch die ungewöhnlich lang dauernde Totalverfinsterung vom 29. August 1886 eine Reihe ausgezeichneter Beobachtungen geglückt war, klären sich einigermassen unsere Anschauungen über das, was die Korona eigentlich ist. Sie ist mehr ein Anhängsel, als eine äussere Atmosphäre der Sonne; in steter Bewegung begriffen, scheint sie nach *Norton* dadurch zu stande zu kommen, dass eine polare Kraft Gase und wohl auch glühende Teilchen von festerem Aggregatzustande von der Sonne weg, die natürliche Schwerkraft sie aber wieder nach jener zurücktreibt. Unter allen Umständen befinden sich die in der Korona umwirbelnden Gase in einem Zustande von so hochgradiger Feinheit, dass dieselbe über die im Laboratorium zu erreichende Verdünnungsgrenze um vieles hinaus-

[1]) Das Mittel hierzu gab das *Silberchlorid* als ein Stoff, der gegen die allermeisten Sonnenstrahlen sich indifferent verhält, nur gegen diejenigen nicht, welche von der Korona stammen.

geht. Man hat für ein solches Gas, dem man eine charakteristische Linie des Koronenspektrums zuzuweisen geneigt ist, den Namen *Helium* einstweilen in Vorschlag gebracht.

Bei der spektralanalytischen Prüfung der Planeten konnten neue Entdeckungen nicht erwartet werden, da ja diese Himmelskörper nicht mit eigenem, sondern wohl ausschliesslich [1]) nur mit dem reflektierten Lichte der Sonne leuchten. Immerhin zeigt jedes Planetenspektrum seine Besonderheiten, die dadurch bedingt sind, dass das betreffende Licht durch die oft ziemlich dichte Atmosphäre eines Planeten hindurchgegangen ist. *H. C. Vogel* hat diese Spektren sämtlich einer methodischen Untersuchung unterzogen Die oberen Planeten lassen sämtlich eine ausgiebige Absorption der Strahlen von kleiner Wellenlänge erkennen, was wohl mit der Anwesenheit dichter Wasserdämpfe in der Atmosphäre der ersteren zusammenhängt. Der grösste Unterschied vom solaren Spektrum zeigt sich bei demjenigen des Neptun, das sich wesentlich nur aus einigen breiten Absorptionsbanden zusammensetzt.

Abweichend vom planetarischen muss sich naturgemäss das *kometarische Spektrum* gestalten, da die Kometen, wie schon *Arago* mittels des Polariskopes ermittelte, sowohl mit geborgtem als auch mit eigenem Lichte zu leuchten scheinen. Dass *Kohlenwasserstoff* einen Hauptbestandteil des Kometenkernes wie seiner gasigen Umhüllungen ausmache, stellte bereits *Zöllner* fest; *Bredichin* aber teilte die Kometenschweife in drei Typen, je nachdem in ihnen Wasserstoff, Kohlenwasserstoff oder Eisen als vorherrschende Materie enthalten ist. Eben diese Elemente oder Verbindungen von Elementen finden sich auch in den Meteoriten, deren nahe Beziehungen zu den Schweifsternen wir weiter oben kennen gelernt haben; auch erhielt *v. Konkoly* einmal von einem Meteore, das sich ungewöhnlich langsam fortbewegte und dadurch eben die spektralanalytische Aufnahme möglich machte, ein *Kohlenwasserstoffspektrum* von derselben Art, wie es bei den meisten Kometen die Regel bildet.

Kosmogonische Hypothesen. Wenn wir nachstehend einen Ueberblick über diejenigen kosmogonischen Theorien geben, welche auch für unsere Zeit noch eine gewisse Bedeutung besitzen, so schliessen wir dabei jene aus, welche es nur mit der *Geogonie* im engeren Sinne zu thun haben, und deren im fünften Abschnitte ohnehin zu gedenken sein wird. Aber auch die wilden Spekulationen des vorigen Jahrhunderts, welche den, wie wir heute wissen, äusserst locker gefügten und deshalb zu grosser mechanischer Arbeitsleistung denkbarst ungeeigneten Kometen die fabelhaftesten Wirkungen zumuteten, berühren uns hier nicht näher. Wirklich rationelle Versuche, sich von der Entstehung der Welten ein Bild zu machen,

[1]) Es ist wohl hier und da die Vermutung ausgesprochen worden, dass der Planet Venus ein schwaches Eigenlicht besitze, in *phosphoreszierendem Lichte* erglänze. *Safarik* hat eine Anzahl in diesem Sinne zu interpretierender Venusbeobachtungen zusammengestellt.

sind in der älteren Litteratur sehr selten; einer der ältesten unter diesen Versuchen führt auf den Kirchenvater *Gregor von Nyssa* zurück, der sogar durch eine Art von Experiment die Abscheidung der verschiedenen Erdbestandteile aus dem Chaos versinnlichen wollte.

Wenn wir von den später zu erwähnenden Erdbildungstheorien eines *Cartesius* und *Leibniz* an dieser Stelle noch absehen, so müssen wir in dem schwedischen Mathematiker *Swedenborg,* der ja sonst freilich in der Geschichte der Mystik bekannter ist, als in derjenigen der exakten Wissenschaften, den ersten Begründer eines durchdachten kosmogonischen Systemes anerkennen. Seine dieser Begründung gewidmete Schrift [1]) steht in der Hauptsache auf dem Boden der Cartesischen Wirbeltheorie, verbunden mit *Kepler*s Lehre, dass jeder Weltkörper magnetische Fühlfäden nach allen Seiten aussende und durch diese kosmische Wirkungen ausübe. Um die Sonne herum, die als gegeben gesetzt wird, kreist wirbelnd die Materie, deren Elementarteile sich unter dem von der Sonne ausgehenden Drucke zu einer den Zentralkörper umschliessenden Kruste zusammenballen; diese wird in den vom Sonnenäquator entfernteren Regionen immer dünner und dünner, bis endlich nur noch ein schmaler Ring übrig bleibt, der aber zuletzt ebenfalls zerbricht und Planeten sowohl wie Monde aus sich hervorgehen lässt. Mehrfach verwandt mit diesen Vorstellungen waren die, welche sich ziemlich um dieselbe Zeit *Thomas Wright* gebildet hatte, und dass durch diese wieder *Immanuel Kant,* als er 1755 seine „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ herausgab, in hohem Grade beeinflusst war, das hat jüngst *Nyrén* sehr wahrscheinlich zu machen gewusst.

In der *Kant*schen Originalform würde die neue Auffassung des kosmogonischen Problemes wohl nicht allzu viele Anhänger sich erworben haben, denn an Klarheit bleibt bei der Darstellung des genannten Werkes viel zu wünschen übrig, und *Zöllner* steht mit seiner Behauptung, dass die ursprüngliche Einkleidung der Hypothese sich vorteilhaft von der ihr nachmals durch *Laplace* verliehenen unterscheide, ganz vereinzelt da. Im Gegenteile kann heutzutage nur noch von der *Kant-Laplaceschen Theorie* als von einer konsequenten und möglichst widerspruchsfreien Analyse des Weltbildungsprozesses gesprochen werden.

Wir haben uns im Sinne dieser Theorie eine ungeheure Kugel zu denken, deren Radius vom Mittelpunkte der gegenwärtigen Sonne bis über die Neptunsbahn hinausreichte, und welche homogen mit einer fein differentiierten Materie erfüllt war. Diese Kugel rotierte — aus welchem Grunde, vermögen wir nicht anzugeben — um eine zur späteren Ekliptik annähernd senkrecht stehende Achse; der Aequator dieser Riesenkugel hatte die stärkste Zentrifugalbeschleunigung, und so trennte sich, als diese über die Kohäsion der in der Kugel vereinigten Partikeln die Oberhand gewonnen hatte, ein

[1]) *Em. Swedenborg, Principia rerum naturalium sive novorum tentaminum phaenomena mundi elementaris philosophice explicati,* Dresden-Leipzig 1734.

äquatorialer Ring ab, der eine Zeitlang freischwebend die ihre Rotation fortsetzende, in ihrem Volumen aber verringerte Zentralkugel umgab, dann aber an einer verhältnismässig schwächeren Stelle zerriss, worauf das Material, aus dem er bestanden hatte, zu einer einzigen Kugel oder zu einem etwas grösseren Balle und verschiedenen relativ kleineren Bällen sich vereinigte. So war der erste — äusserste — Planet, so waren auch dessen Trabanten, Planeten zweiter Ordnung, entstanden. Die verkleinerte innere Kugel musste diesen Abtrennungsprozess nun noch mehrfach über sich ergehen lassen, bis sie endlich auf den Umfang der Sonne von heute reduziert war. Das *Ringstadium* erhielt sich bei einem Planeten längere, beim anderen kürzere Zeit, so dass gegenwärtig nur noch *Saturn* uns als geschichtlicher Zeuge des Herganges übrig geblieben wäre [1]). Versteht man unter $\rho_1, \rho_2 \ldots \rho_n$ die mittleren Halbmesser der einzelnen Planetenbahnen, unter $P_1, P_2 \ldots P_n$ die Halbmesser der einzelnen Planetenkugeln, unter P den Sonnenradius, unter $\delta_1, \delta_2 \ldots \delta_n$ die Dichten der Planeten und unter δ die Dichte des Sonnenkörpers, so kann man, vorausgesetzt, dass der Index n dem von der Sonne am weitesten abstehenden Planeten entspricht, die Dichten $\Delta_n, \Delta_{n-1}, \Delta_{n-2} \ldots$ der Kugeln, in welche sich je nach einem neuen Abschleuderungsprozesse der Urball zusammengezogen hatte, mittels der folgenden Relationen berechnen:

$$\rho_n{}^3 \Delta_n = P^3 \delta + P_1{}^3 \delta_1 + P_2{}^3 \delta_2 + \ldots + P_n{}^3 \delta_n,$$
$$\rho_{n-1}{}^3 \Delta_{n-1} = P^3 \delta + P_1{}^3 \delta_1 + P_2{}^3 \delta_2 + \ldots + P_{n-1}{}^3 \delta_{n-1},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\rho_1{}^3 \Delta_1 = P^3 \delta + P_1{}^3 \delta_1.$$

Die Theorie von *Kant-Laplace* wurde durchweg freundlich aufgenommen und zählt auch heutigestages noch die überwiegende Mehrheit derjenigen zu ihren Anhängern, welche eine kausale Begreifung der Weltentstehung und ihrer einzelnen Phasen für möglich, für eine innerhalb der der menschlichen Erkenntnis gezogenen Grenzen gelegene Sache halten. Die Stellung der Kometen ist freilich eine etwas schwierige, doch kann man auch sie dem Systeme ohne Zwang einordnen, wenn man auf einen zuerst von *Gauss* angedeuteten, von *Schiaparelli* aber weiter ausgeführten Gedanken zurückgreift. Die Kometen waren danach von Hause aus kleine kosmische Wolken, die aus dem gleichen Weltbildungsstoffe, wie der solare Zentralball, bestanden, und welche von unserem Sonnensysteme bei dessen translatorischer Bewegung im Weltraume (s. o.) mit in

[1]) Ehe der Planetenring sich völlig in ein System von Satelliten auflöst, wird er erst das Durchgangsstadium eines Aggregates kleiner, getrennter, aber doch noch immer ringförmig aneinander gereihter Körperchen durchmachen müssen. Dieses intermediäre Stadium scheint es zu sein, in welchem sich der Saturnsring soeben befindet; die von *Maxwell* aus aprioristischen Gründen vertretene Ansicht, dass es sich so verhalte, erscheint gesichert durch die Lichtmessungen *Seeligers*, welcher die von ihm in allen Hauptpunkten neu fundierten Lehren der Himmelsphotometrie auf genannten Ring, als auf eines der wenigen dankbaren Objekte für derartige Untersuchungen, angewendet hat.

die eigenen Kreise hereingezogen, sozusagen annektiert wurden. Was oben über die Wechselbeziehungen von Kometen und Meteoriten gesagt wurde, lässt sich mit dieser Anschauung gut in Einklang bringen.

Etwas bedenklicher erscheint der Einwand, welcher in allerneuester Zeit erst aus den Bewegungen im Systeme der Uranustrabanten hergeleitet worden ist. Wenn die oben auseinandergesetzte Theorie den Thatsachen entspricht, so müssen Sonne, Planeten, Monde und allfallsige Ringe einen identischen oder doch wenigstens keinen allzu sehr abweichenden Drehsinn haben; die bekannten *Plateau*schen Experimente mit dem der Einwirkung der Schwerkraft entzogenen Oeltropfen, den man in Drehung versetzt, und von dem sich dann kleine Kügelchen und geschlossene Ringe ablösen, ergeben das gleiche Resultat. Wie *Buffham, Perrotin* u. a. fanden, ist nun aber die Rotationsbewegung der Uranustrabanten fast geradezu eine rückläufige, und um diese Erscheinung zu erklären, bedarf es neuer Hypothesen, welche teilweise einen gezwungenen Charakter nicht verleugnen können.

Modifikationen der Theorie von Kant-Laplace. Manche der in späterer Zeit vorgeschlagenen Abänderungen der sozusagen klassischen kosmogonischen Hypothese würden überhaupt nicht dazu dienen, den soeben erwähnten Uebelstand zu beseitigen. So verschlägt es nichts, ob wir, wie eben dargelegt, dünne Ringe oder, mit *Kerz,* ganze sphärische, resp. sphäroidische Schalen von dem Hauptkörper sich lostrennen lassen. Auch *A. Forster*s geistvolle Identifizierung des Hauptkörpers mit einer adiabatischen Gaskugel im Sinne *A. Ritter*s [1]) hilft uns über diesen Stein des Anstosses nicht hinweg. Ebensowenig wird es vielen genehm sein, das Kind mit dem Bade auszuschütten und, mit dem französischen Astronomen *Faye,* eine neue, jedoch keineswegs verbesserte, Theorie an die Stelle der alten, hauptsächlich doch nur in einem einzigen Punkte bedenklichen zu setzen. Wir verzichten auf die genauere Wiedergabe dieser neuen Kosmogonie, welcher gemäss die alte Wirbeltheorie des *Descartes* von neuem aufleben sollte. Glücklicherweise kann man die in Rede stehenden Hemmnisse auch auf andere Weise beseitigen, ohne das Fundament der älteren Lehre zu erschüttern.

Der treffliche englische Geophysiker *G. H. Darwin* hat darauf hingewiesen, dass damals, als die planetarischen Körper sich noch in einem Aggregatzustande befanden, in welchem ihren Molekülen eine freiere Bewegung als später verstattet war, die gegenseitige Anziehung *Gezeiten-bildend* wirken, also starke Deformationen der ursprünglich sphärischen Gestalt zur Folge haben musste. Aus seinen analytischen Schlussformeln folgerte *Darwin,* dass die aus einem Ringe sich entwickelnden Gasbälle zunächst eine Rotation von dem des Ringes entgegengesetzten Drehsinne erhalten müssten,

[1]) Näheres hierüber bringt die Theorie des Erdinneren im dritten Abschnitte.

und bei denjenigen Planetenmonden, welche von der Sonne schon hinreichend weit entfernt gewesen seien, also bei den Monden von Uranus (s. o.) und Neptun [1]), habe sich dieser Drehsinn denn auch erhalten, wogegen in grösserer Nähe bei dem massenmächtigen Zentralkörper die Flutreibung allmählich eine totale Umkehrung des Sinnes der Rotation zuwege gebracht hätte [2]). *C. Braun* meint, damit möchte doch der Aktion der Gezeiten eine gar zu einflussreiche Rolle übertragen sein; er selbst setzt seine Kritik an dem Punkte ein, dass überhaupt (s. o.) noch gar kein befriedigender Grund für die anfängliche Achsendrehung des Urballes angegeben worden sei, und glaubt, dass man sowohl hierfür wie auch für die beobachteten Unregelmässigkeiten in der Bewegung der einzelnen Planeten und Monde den Schlüssel mit der Annahme gewinne, dass verschiedene benachbarte Gasbälle, die ursprünglich ein Sonderdasein geführt hatten, durch die gegenseitige Anziehung miteinander in Kontakt gebracht wurden. Die Art und Weise, wie *Braun* diesen Gedanken durchführt, muss, wie auch eine Autorität von *W. Försters* Gewicht unumwunden anerkennt, als eine sehr beachtenswerte bezeichnet, und jedenfalls darf die *Kant-Laplace*sche Hypothese, mit den von *Braun* an ihr angebrachten Verbesserungen, als die Norm für weitere Untersuchungen auf diesem Gebiete nach wie vor betrachtet werden.

Die Entwicklungsstadien der Weltkörper. Indem wir dies thun, und indem wir ferner im Anschlusse an *Zöllners* vielgenannte Arbeiten die Ergebnisse der Spektralanalyse in den Dienst der Kosmologie stellen, dürfen wir es wagen, die verschiedenen Weltkörper, mit denen uns das bewaffnete Auge und der astrophotographische Apparat bekannt gemacht haben, in Gruppen zu sondern, so zwar, dass das Entwicklungsstadium des Gestirnes vom Zustande äusserster Dissolution bis zu demjenigen fortgeschrittenster Kontraktion das Kriterium für die Unterbringung in einer bestimmten Gruppe abgibt [3]). Daran, dass die Grenzmerkmale zwischen den einzelnen Klassen durchaus scharfe seien, sowie daran, dass nunmehr jedes einzelne stellare Individuum mit Leichtigkeit einregistriert werden könnte, ist selbstverständlich nicht zu denken, allein vorzugsweise in hodegetischer Beziehung ist diese Klassifikation gleichwohl von

[1]) Vom Neptunsmonde ist die retrograde Achsendrehung noch nicht mit gleicher Sicherheit konstatiert, wie von den Uranustrabanten, doch ist sie allerdings sehr wahrscheinlich.

[2]) Auch die früher schon im Texte namhaft gemachte Thatsache, dass Venus und Merkur eine mit der Rotationsdauer übereinstimmende Umlaufszeit besitzen, hat *Plassmann* mit dem retardierenden Einflusse in Verbindung gebracht, welchen in einer älteren entwicklungsgeschichtlichen Epoche dieser Planeten die allerdings übermächtige, von der nahen Sonne ausgelöste Flutwoge ausgeübt habe.

[3]) Es soll nicht verschwiegen werden, dass z. B. Fräulein *Clerke* in ihrer bekannten, sehr verdienstlichen und von uns vielfach zu Rate gezogenen „Geschichte der Astronomie“ gegen *Zöllner* und den auf seine Seite getretenen *H. C. Vogel* Stellung genommen hat, doch konnten uns ihre Gegengründe nicht bekehren.

nicht zu unterschätzendem Werte, und gerade die Physik der Erde entnimmt ihr wichtige Anregungen. Wir geben nunmehr mit kurzen Worten die Hauptzüge unserer Einteilung.

I. *Gruppe der Nebelflecke.* Während viele sogenannte Nebelflecke sich in Teleskopen von hoher raumdurchdringender Kraft in *Sternhaufen* auflösen liessen, war dies bei anderen nicht möglich. Zumal auch auf die Befunde der Spektralanalyse hin muss man annehmen, dass diese unauflöslichen Nebelflecke im kosmischen Primordialstadium sich befinden, dass sie Konglomerate von „Weltenbaustoff" und somit in eben jenem Zustande sind, in welchem sich unser Sonnensystem vor der Abscheidung des Neptun befand.

II. *Gruppe der kosmischen Nebel mit Kern.* In einzelnen Nebeln konnte man einen Verdichtungsprozess, das Entstehen eines wirklichen Sternes im Inneren der Nebelmasse, erkennen. Seit 1885 macht in dieser Hinsicht der im Jahre 1612 von *Simon Marius* entdeckte *Nebel der Andromeda* viel von sich reden, indem damals von *Hartwig* in dessen Mitte ein Sternchen entdeckt wurde, welches seitdem stetig zugenommen hat, und von dem man überzeugt sein darf, dass es dem Nebelflecke nicht bloss optisch angehört.

III. *Gruppe des ersten Typus von Secchi.* Die Sterne, welche hierher gehören, scheinen, wie wir erfuhren, erhitzte Gasmassen zu sein, aber eben doch schon *distinkte Gasmassen,* die nach aussen eine gewisse Abgrenzung besitzen, bei denen also der Abtrennungsprozess im *Kant-Laplace*schen Sinne entweder schon begonnen hat oder doch bald beginnen wird. Jedenfalls ist bereits eine gewisse Scheidung der äusseren und der mehr zentralen Bestandteile eingetreten. Wahrscheinlich sind hierher auch die so wenig dichten äussersten Planeten zu rechnen.

IV. *Gruppe des zweiten Typus von Secchi.* Der Abschleuderungsprozess ist zu einem wenigstens vorläufigen Stillstande gekommen; ein im Vergleiche mit der Gaskugel von ehedem kleines, an sich betrachtet aber doch noch sehr voluminöses Zentralgestirn, umkreist von einer Anzahl von Planeten, ist in seinen peripherischen Regionen bereits so weit erkaltet, dass Gebilde von festerem Aggregatzustande, *Wolken-* oder *Schlackenmassen,* an der Aussenseite entstehen konnten. Die Protuberanzen kündigen jedoch noch stetige und energische Reaktionen des grossenteils noch gasförmigen Inneren gegen diese schon teilweise verfestigte Aussenseite an, sie beweisen, dass die Sonne bereits der nächsten Gruppe nahe steht.

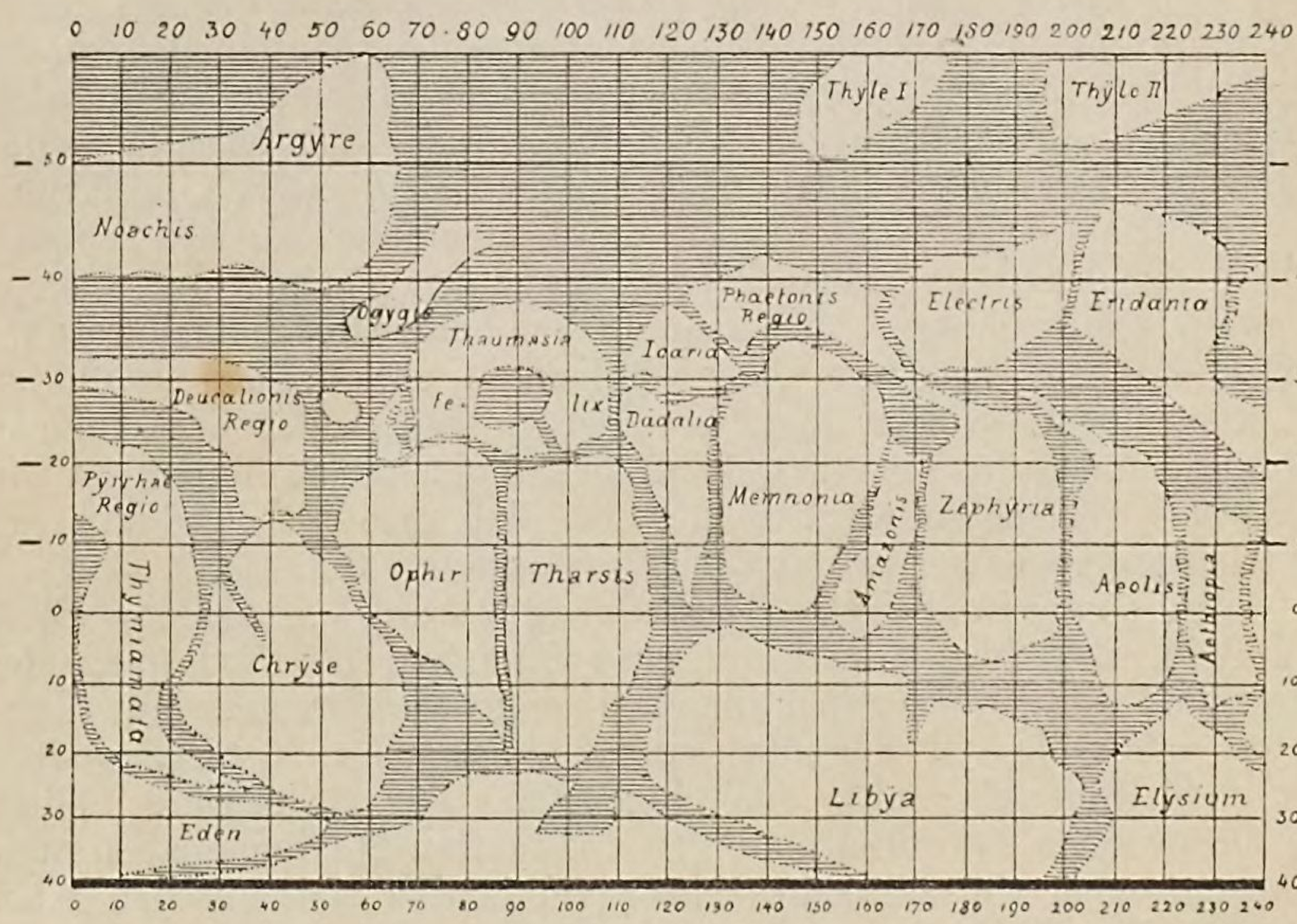
V. *Gruppe der veränderlichen und neuen Sterne.* In diese Kategorie gehören die Typen III und IV des römischen Astrophysikers. Die festen, kein Licht aussendenden Partien der Oberfläche haben sich derart gemehrt, dass, wenn durch die Achsendrehung des Sternes gerade eine ausgedehnte dunkle Stelle unserem Auge gegenübertritt, das Licht dieses Gestirnes beträchtlich abgeschwächt erscheint. Die Formeln von *Bruns* thun dar, dass der Lichtwechsel der am häufigsten vorkommenden veränderlichen Sterne, der Sterne vom *Algoltypus,* durch eine solche Annahme vollkommen befriedigend erklärt werden kann. Nach und nach ist die ganze Ober-

fläche verfestigt, aber es ist die Rinde, welche die feurig-flüssigen und gasförmigen Massen umschliesst, noch eine so dünne, dass zum öfteren dieselbe unter dem Auftriebe der Gase und Dämpfe zerreisst und grossen Massen der letzteren den Austritt frei macht, wobei es dann natürlich ohne intensive Lichtentwicklung nicht abgehen kann. Der Beobachter sieht dann plötzlich einen neuen Stern am Firmamente aufleuchten, von dem er begreiflicherweise vorher keine Spur bemerkt hatte; solche Erscheinungen waren *Tycho Brahe*s Stern in der Kassiopeja von 1572, *Kepler*s Stern im Ophiuchus von 1604 und andere mehr. Dass diese neuen Sterne niemals lange ihre ursprüngliche Leuchtkraft bewahrten, sondern allgemach in die frühere Unsichtbarkeit zurücksanken, spricht gleichfalls zu gunsten unserer Hypothese, denn der Abkühlungsprozess schreitet ja weiter und weiter fort und schliesst nach einiger Zeit die durch die Explosion in die starre Kruste gerissene Kluft für immer. In den seltenen Fällen, in denen es stellare Neubildungen mit dem Spektroskope zu untersuchen gelang, erhielt man ein demjenigen der Sonnenprotuberanzen ähnliches Spektrum. Die Möglichkeit, dass bei den erwähnten Eruptionen feste Körper in grosse Fernen fortgeschleudert und in die Anziehungssphäre anderer Weltkörper gelangen könnten, ist von *Tschermak* verfochten worden, der die Meteorite als Produkte des von ihm supponierten *kosmischen Vulkanismus* auffasst.

VI. *Gruppe des festen Oberflächenzustandes.* Kosmische Bälle von kleinem Radius, wie die unteren Planeten, die Erde und der Mars, sind bereits von einer ziemlich dicken Erstarrungsrinde überzogen; wie es jenseits derselben aussieht, das soll nicht hier, sondern erst im dritten Abschnitte den Gegenstand der Erörterung bilden. Die grossartigen Gasausströmungen des fünften Stadiums haben nunmehr nur noch ein schwaches Nachspiel in den vulkanischen Ausbrüchen, die viel zu unbedeutend geworden sind, um auf weit entfernten Himmelskörpern überhaupt noch wahrgenommen zu werden. Von unserem Nachbarplaneten Mars ist es mehr denn wahrscheinlich, dass auf ihm der Erkaltungsprozess bereits weit genug fortgeschritten sei, um jede Kommunikation des noch nicht fest gewordenen Inneren mit der Aussenseite zu verhindern. Im übrigen zieht Mars, von dem wir durch die Mühewaltung *Kaiser*s, *Terby*s und ganz besonders *Schiaparelli*s vorzügliche Oberflächenzeichnungen erhalten haben, unsere Aufmerksamkeit dadurch auf sich, dass er in seinem physischen Verhalten auf der einen Seite unserer Erde mehr denn irgend ein anderes Gestirn ähnelt, auf der andern Seite wieder aber auch gar nicht unbeträchtliche Verschiedenheiten von derselben aufweist. Fig. 1 führt uns nach *Schiaparelli* ein Bild der Aequatorialzone des Mars vor, wobei jedoch von der damals die günstigeren Sichtbarkeitsbedingungen darbietenden Südhalbkugel ein grösseres Stück berücksichtigt ist, als von der Nordhalbkugel. Da man sich versichert halten darf, dass der Gegensatz von hellen und dunklen Partien ganz ebenso einen verschiedenen Aggregatzustand der das Licht zurückwerfenden Oberflächen andeutet, wie sich ein solcher für ein ausserhalb unserer Erde befindliches Auge in dem Wechsel

von Meer und Festland offenbaren würde, so müssen wir auch dem Mars das Vorhandensein von Wasser und Land zuschreiben, allein die Verteilung dieser „Elemente“ ist eine ganz andere, als wir sie gewohnt sind. *Auf der Erde werden gewaltige, kompakte Kontinentalmassen durch Wasserflächen von noch weit grösserem Areale voneinander getrennt; auf dem Mars dagegen wiegt das Festland vor, und verhältnismässig schmale Wasserstrassen zerlegen dasselbe in eine*

Fig. 1.



Reihe von grossen Inseln. Dieser Gegensatz wird künftig, je weiter das Detailstudium des Mars fortschreitet, zu interessanten Vergleichungen zwischen physischer Geo- und Areographie Veranlassung bieten, wie solche bezüglich der dem Mars ebensowenig wie der Erde fehlenden *Schnee-* und *Eisbedeckung* bereits angestellt worden sind [1]).

VII. *Gruppe des Erstarrungszustandes.* Sehr kleine Himmelskörper, wie es unser *Erdmond* ist, sind im Verfestigungsakte natur-

[1]) Nahe den Polen, aber exzentrisch zu diesen gelegen, erkennt man weiss schimmernde, grosse Flecke, welche Grösse und Begrenzungslinie mit den Jahreszeiten des Mars verändern und deshalb nur als mit den polaren Eishauben unseres Erdballes gleichwertig aufgefasst werden können. Diese Wahrnehmung wollten *Fizeau* und *Flammarion* sogar zu dem Schlusse erweitern, dass der der Erde zugekehrte Teil des Planeten gegenwärtig seine *Eiszeit* (s. u. Abschnitt XV) habe, und als wichtigste Stütze für diese Hypothese gilt die allerdings sichergestellte Thatsache, dass die oben erwähnten, zu einem äusserst feinen Netzwerke verschlungenen Kanäle nicht stabil bleiben, sondern sich teilen und sehr wechselnd in verschiedene Aeste zerfasern. Ein so rascher Wechsel der Grenzlinien zwischen festem und flüssigem Elemente könne, so meinen jene Astronomen, nur in einem Aggregate von Eisfeldern statthaben.

gemäss auch am weitesten vorgeschritten. Wie mächtig die feste Kruste ist, ob nicht im Inneren doch noch eine kleinere Kugel aus tropfbar- und elastisch-flüssigen Stoffen sich erhalten hat, wir wissen es nicht zu sagen. Jedenfalls ist dieser noch nicht fest gewordene Kern nicht mehr im stande, Wirkungen gegen aussen auszuüben, denn alle Nachrichten, dass man Vulkanausbrüche auf der Nachtseite des Mondes beobachtet habe, erwiesen sich als unzuverlässig, und überhaupt muss man Angaben über *rezente physische Veränderungen auf der Mondoberfläche* mit höchster Reserve aufnehmen[1]). Sehr lang, wenigstens mit dem geologischen Masstabe gemessen, wird ja wohl freilich die Zeit nicht zurückliegen, da noch die Unzahl von Vulkanen entstehen konnte, welche die uns stetig zugekehrte Hälfte unseres Begleiters zu einer so abwechslungsreichen macht, allein heutzutage ist das Zuleitungsrohr zu jedem dieser Feuerberge — soweit sie ein solches besitzen und nicht eine homogene Masse darstellen — durch intrakrustale Neubildungen versperrt, und neben den Vulkanen erinnern nur noch die *Rillen*, jene landstrassenartigen Sprünge der Mondrinde, an die vergangenen Zeiten magmatischer und seismischer Kraftäusserung. Sehr möglich ist es, dass der Mond ehedem auch *Luft* und *Wasser* besessen hat, während von beiden zur Zeit kaum noch verschwindende Residuen als an der Oberfläche vorhanden bezeichnet werden können. *Absorption* und *Hydratbildung*, zwei im Gefolge der zunehmenden Abkühlung und Kontraktion wohl begreifliche Vorgänge, haben die Flüssigkeiten, mochten sie dem einen oder anderen Aggregatzustande angehört haben, gebunden, zum Verschwinden gebracht, und so ruft denn unser Trabant ganz und gar den Eindruck einer *ausgebrannten Schlacke* hervor. In diesem Zustande mag er unserer Erde und allen auf noch minder fortgeschrittener Entwicklungsstufe verharrenden Himmelskörpern das Geschick vor Augen stellen, welches ihrer selbst dereinst harrt, welches aber damit noch lange kein endgiltig abgeschlossenes ist. Denn indem unser Sonnensystem auf seinem Laufe durch den Sternenraum mit anderen Systemen in Berührung tritt, können sich sehr leicht Auflösungszustände ergeben, aus denen heraus die bis dahin in der Sonne und den ihr tributären Planeten vereinigte, nun aber wieder auf weite Fernen verstreute Materie zu einem neuen Konzentrationsprozesse, zu einem neuen Kreislaufe ihren Weg antreten kann.

Zusammenfassender Rückblick. Durch unsere Betrachtungen ist dargethan, dass das physische Leben unserer Erde nur

[1]) In jüngster Zeit erst betonte *H. J. Klein* gegen *Tarry*, dass es, weil je nach dem Stande der Sonne der landschaftliche Anblick eines Mondbezirkes überaus rasch wechsle, sehr schwierig sei, *objektiv eingetretene Veränderungen* von solchen zu trennen, die sich auf bloss *subjektive Eindrücke* zurückführen lassen. Immerhin glauben *Klein* und *Neison* thatsächliche Gestaltsveränderungen an Mondbergen erkannt zu haben, deren Ursache vielleicht in dem schroffen Gegensatze von halbmonatlicher Hitze und halbmonatlicher Kälte zu suchen sein dürfte.

im engsten Anschlusse an die grossen kosmischen Umwandlungen richtig verstanden werden kann, dass die *Geophysik* wesentlich nur eine — durch die Reichhaltigkeit und Vielseitigkeit ihres Inhaltes allerdings eine sehr ausgezeichnete Stellung einnehmende — Spezialdisziplin der *Astrophysik* darstellt. Aus einer sich langsam abkühlenden Gasmasse ist mit der Zeit der in seinen äusseren Teilen, nach der Meinung Vieler aber sogar durch und durch starre Körper geworden, als welchen wir unseren Wohnplaneten kennen. Sich selbst überlassen, musste er unter der gemeinsamen Einwirkung von Schwere und Schwungkraft eine sphäroidische Form annehmen; deren nähere Eigenschaften zu erforschen, soll unsere nächste Aufgabe sein. Dann aber wollen wir die Geschichte des Erdballes und seiner Aussenseite bis zu jener Zeit verfolgen, da er fähig wurde, die Wohnstätte organisierter Wesen zu sein; bei dieser Thätigkeit werden wir uns ganz von selbst und ungesucht zu allen den Aufgaben hingeführt sehen, als deren Inbegriff die physikalische Geographie zu gelten, deren Lösung sie anzustreben hat.

II. Gestalt und Grösse der Erde; Gravitationserscheinungen.

Entwicklung der Lehre von der Kugelgestalt. An die Stelle der vagen Spekulationen der griechischen Naturphilosophen, welche der Erde bald diese, bald jene Körperform beilegten, trat bereits in der älteren pythagoreischen Schule die Erkenntnis, dass die Erdoberfläche sphärisch gekrümmt sei. *Aristoteles* suchte diese Wahrheit auch zu beweisen; einerseits wies er auf den kreisförmigen Schatten hin, welcher bei partiellen Mondfinsternissen den erleuchteten Teil der Mondkugel von dem im Schatten der Erde befindlichen trennt, andererseits berief er sich auf ein physikalisches Gesetz, demzufolge die unseren Erdkörper bildenden Partikeln, welche sich gegenseitig anzögen, nur unter obiger Voraussetzung im Gleichgewichte verbleiben könnten. Die späteren Astronomen fügten den noch ungleich beweiskräftigeren Nachweis hinzu, dass, wo man auch mit Hilfe von Winkelmessinstrumenten die Distanz zweier Punkte der Himmelskugel messe, *gleichen linearen Abständen auf der Erde stets gleiche Bogen am Himmel entsprechen.* Diese Thatsache duldete, wenn sie eine beglaubigte war, nur eine einzige Interpretation, nämlich die folgende:

Die Erde ist eine im Weltraume frei schwebende, nirgends unterstützte Kugel; jede nach unten gerichtete Bewegung führt zum Mittelpunkte dieser Kugel hin, jede nach oben gerichtete Bewegung entfernt von diesem.

Während des ganzen Altertumes blieb diese Lehre unbeanstan-

det in Kraft, und erst in der früheren Periode des Mittelalters musste sie sich eine Trübung gefallen lassen. Die orientalischen Kirchenväter, von deren sonderbarer Auslegung der allenfalls hierher gehörigen Bibelstellen uns der alexandrinische Reisende *Kosmas Indópleustes* treuen Bericht erstattet hat, stellten sich die Erde als einen auf horizontaler Basis ruhenden, rings vom Meere umschlossenen Berg vor, der gegen Norden zu unaufhörlich ansteige, um dann allerdings da, wo die Hyperboreer wohnen sollten, seinen Gipfel zu erreichen und sich nunmehr gegen den Ozean hin zu senken. Wenn die Sonne auf ihrer täglichen Bewegung hinter diese Bodenanschwellung tritt, so haben die auf der Vorderseite Wohnenden Nacht, und das Hervorkommen des Gestirnes hinter dem Erdhügel ist gleichbedeutend mit Sonnenaufgang. Mehrere Jahrhunderte lang scheint in den zum östlichen Teile des römischen Reiches gehörigen Ländern dieses sonderbare Erdbild den Besten des Volkes genügt zu haben.

Vom VIII. Jahrhundert unserer Zeitrechnung an trat jedoch ein Umschwung ein, indem sowohl die gelehrten Klostergeistlichen Britanniens, als auch die arabischen Mathematiker die in den klassischen Schriften des Altertumes enthaltenen Lehrsätze der Vergessenheit entrissen. Das im XIII. Jahrhundert entstandene sphärische Lehrbuch des *Sacrobosco*, welches bald für sämtliche Lehranstalten des Abendlandes tonangebend wurde, steht völlig auf dem Boden des Ptolemäischen Almagestes. Als seit dem Reformationszeitalter die Erdumseglungen sich mehrten, erblickte man auch in diesen neuen Belege für die Sphärizität der Erde, und in gewissem Sinne können sie ja auch als solche gelten, indem nämlich dadurch bezeugt wird, dass längs des von dem fraglichen Schiffe zurückgelegten Weges der Erde eine lückenlose, gekrümmte, von Ecken und Kanten freie Begrenzungsfläche eignet.

In neuester Zeit haben uns *Dufour* und *Forel* noch mit einem neuen, der Physik entnommenen Beweisgrunde bekannt gemacht. Wenn ein leuchtendes Objekt sich an einer konvex gekrümmten, sehr weit entfernten Fläche spiegelt, so erweist sich das Spiegelbild nicht nur als ein verkleinertes, sondern auch als ein verzerrtes; eine Licht aussendende Kreisscheibe z. B. wird eine ovale Form annehmen, wenn auch diese Abweichung, falls der Krümmungshalbmesser der Spiegelfläche ein sehr grosser ist, nur durch sehr genaue Messungen zu konstatieren sein wird. Solche Messungen sind durch die beiden genannten Gelehrten an dem Reflexionsbilde der Sonnen- und Mondscheibe im Genfer See vorgenommen worden, und da stellten sich die Dinge so heraus, wie, da ja der Seespiegel keine ebene, sondern eine sphärisch gekrümmte Fläche darstellt, zu erwarten gewesen war.

Aeltere Messungen des Erdumfanges. Nachdem man so über die Gestalt der Erde im klaren war, musste man auch bald auf den Gedanken kommen, *ihre Grösse zu messen*. Am einfachsten ist es, den Umfang u eines grössten Kreises der Erdkugel zu er-

mitteln, denn bezeichnet man deren Radius mit r, ihre Oberfläche mit O, ihr Volumen mit V, so hat man, $\pi = 3{,}14159\ldots$ gesetzt,

$$r = \frac{u}{2\pi},\quad O = 4r^2\pi = \frac{u^2}{\pi},\quad V = \frac{4}{3}r^3\pi = \frac{u^3}{6\pi^2}.$$

Aus dem griechischen Altertum sind uns Nachrichten von zwei Erdmessungen erhalten, welche bezüglich *Eratosthenes* und *Posidonius* angestellt haben. Ersterer mass die Scheitelabstände der Sonne um die Mittagszeit desselben Tages an zwei um k Einheiten irgend eines Linearmasses — in diesem Falle war es das Stadium — auf der Erde voneinander abstehenden, im nämlichen Meridiane gelegenen Orten; wären ψ_1 und ψ_2 ($\psi_1 > \psi_2$) resp. diese, im gewöhnlichen Winkelmasse ausgedrückten Zenitabstände, so könnte man u mittels der Proportion $(\psi_1 - \psi_2) : 360 = k : u$ berechnen. Genau ebenso sieht die von *Posidonius* angewendete Proportion aus, nur bedeuten bei ihr ψ_1 und ψ_2 die beiden Kulminationshöhen eines an dem nördlicher gelegenen Orte sich weniger hoch als an dem südlicher gelegenen über den Horizont dieses Ortes erhebenden, nicht-zirkumpolaren Fixsternes.

Im grossen und ganzen ähnlich wurden die Messungen vollzogen, welche der arabische Kalife *Al-Mamun* im IX. Jahrhundert n. Chr. anordnete, sowie diejenigen, welche *Fernel* im XVI. und *Norwood* im XVII. Jahrhundert mit eigenen Mitteln ausführten. Wesentlich verbessert aber wurde die *Gradmessung* — so genannt, weil man die obige Winkeldifferenz am liebsten $= 1^0$ setzte und dann erst die zugehörige Lineardistanz ausmass — durch das *Triangulationsverfahren des Snellius.* Derselbe mass direkt, mit der Messkette, nur eine im Vergleiche zu den vorher für k gewählten Strecken sehr kurze Grundlinie, deren Grösse dann aber auch als sehr genau bestimmt gelten durfte, während im übrigen ausschliesslich Winkelmessungen, die an sich schon eine grössere Schärfe verbürgen, notwendig waren. Diese Methode ist seit jener Zeit (1617) ununterbrochen und ausschliessend bei allen Gradmessungsarbeiten zur Anwendung gekommen.

Die Erde als Sphäroid erkannt. Gelegentliche, da und dort in der Litteratur sich findende Andeutungen, dass der Erde keine reine Kugelform zukommen möge, hatten einen tieferen Hintergrund nicht; erst *Kepler* betonte diese Frage entschiedener und schlug sogar vor, man möge mit den bisherigen Erdmessungen, welche einzig und allein *Breitengradmessungen* waren und deshalb nur über die Gestaltverhältnisse der *Meridiane* Auskunft zu erteilen vermochten, auch längs eines *Parallels* ausgeführte *Längengradmessungen* verbinden, durch welche etwaige Abweichungen der Erdoberfläche von der Kugelgestalt leichter ersichtlich werden würden. Der Gedanke war ein richtiger und hat später seine Verwirklichung gefunden, allein für jene Zeit war er auch deshalb verfrüht, weil die Geodäsie noch lange nicht den Grad von Vollendung erreicht hatte, wie er für so komplizierte Messungen unbedingt erfordert wird.

Allein nicht allzu lange Zeit nach *Kepler* erlangte man über die von ihm vermuteten Eigentümlichkeiten der Erdgestalt Aufklärung auf einem ganz anderen Wege. Der französische Astronom *Richer* hatte im Jahre 1672 auf der dem Aequator nahe gelegenen Insel Cayenne gefunden, dass ein Pendel, welches in Paris genau Sekunden schlug, einen schnelleren Gang angenommen hatte, und dass ein Hinunterschieben der Linse, also eine *Vergrösserung der Pendellänge*, vonnöten war, um jenes von neuem wieder zu einem *Sekundenpendel* zu machen. Dieser Vorfall wäre unerklärlich gewesen, wenn nicht zum Glücke kurz vorher *Huygens* die Gesetze der Pendel- und der Zentralbewegung begründet gehabt hätte. Nun aber wusste man, dass die Länge l_s eines Sekunden schlagenden Pendels mit der *Schwere* g, die man bisher als eine konstante Grösse behandelt hatte, durch die Beziehung $l_s = g : \pi^2$ verbunden sei: *Länge des Sekundenpendels und Intensität der Schwerkraft sind proportionale Grössen.* Wenn also die erstere sich ändert, so gilt auch ein Gleiches für die Grösse g, welche die Anziehungskraft des Erdkörpers zum Ausdrucke bringt, und da l_s in Cayenne kleiner als in Paris war, so musste letzteres auch für die Intensität gelten, mit welcher die Erde attraktiv auf einen an ihrer Oberfläche befindlichen Körper wirkt. Unter der allerdings nur bedingt zulässigen Voraussetzung [1]) also, dass die Erdschwere im Mittelpunkte konzentriert angenommen werden dürfe, konnte man sich von dem, was *Richer* beobachtet hatte, in folgender Weise Rechenschaft geben:

Die Erde ist keine vollkommene Kugel, der Aequator ist vom Zentrum der Schwere weiter entfernt, als dies Orte in höheren Breiten sind, und so muss denn die Erde von einer ovalen Fläche umschlossen sein, die zwar einen Mittelpunkt hat [2]), *deren äquatorialer Durchmesser aber grösser als ihr polarer ist.*

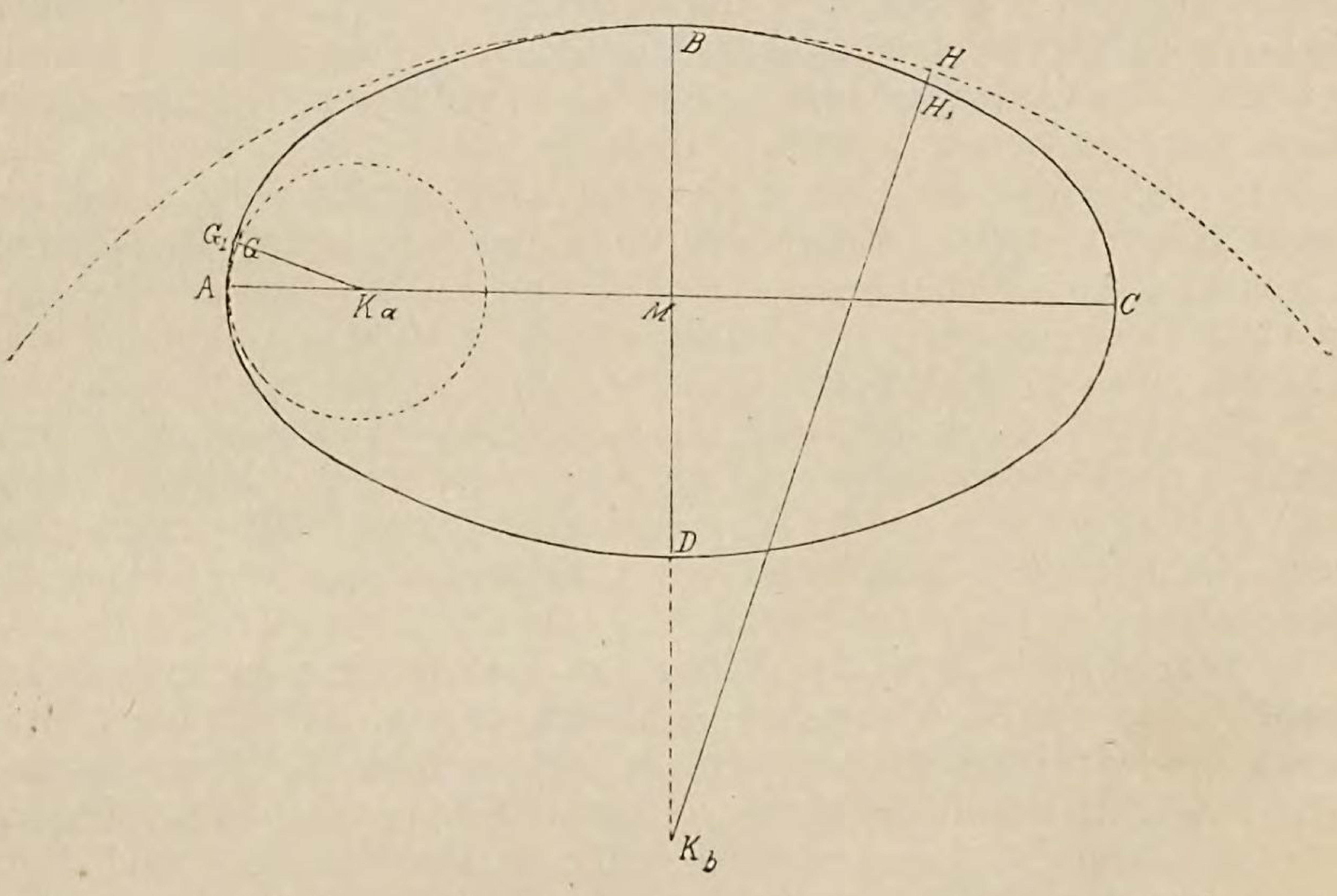
War diese Thatsache richtig, so musste sie sich auch durch geometrische Schlüsse bewahrheiten lassen. *Fig. 2* stellt einen Meridian des Ovalkörpers vor, dessen Mittelpunkt M, dessen grosse Achse AC, dessen kleine Achse BD ist. Für die resp. dem Aequator und einem der Pole entsprechenden beiden Punkte A und B ist der sogenannte *Krümmungskreis*, d. h. derjenige Kreis konstruiert, welcher unter allen die Kurve bezüglich in A und B berührenden

[1]) Der Attraktionskalkul beweist, dass nur eine entweder homogene oder doch aus homogenen Kugelschichten aufgebaute Kugel ein *zentrobarischer Körper* ist, d. h. sich so verhält, als sei seine ganze Masse im geometrischen Mittelpunkte vereinigt. Die von der Kugel auf einen wo immer gelegenen Massenpunkt ausgeübte Anziehung fällt dann der Richtung nach mit einem der Radien zusammen.

[2]) Ein Punkt führt dann den Namen Mittelpunkt einer Fläche oder Kurve, wenn alle durch ihn hindurchgehenden Sehnen des Gebildes zugleich auch in ihm halbiert werden. Vorausgesetzt, dass dieses Gebilde vom Ellipsoid- resp. vom Ellipsencharakter ist, d. h. dass es mit einer beliebigen graden Linie bloss zwei Punkte gemein hat, wird man in jeder Mittelpunktskurve eine grösste und eine kleinste Sehne unterscheiden können, welche im Mittelpunkte aufeinander senkrecht stehen und als *grosse* und *kleine Achse* voneinander unterschieden werden.

Punkten sich dieser am innigsten anschmiegt und deshalb, solange keine grossen Entfernungen von A und B in Rede stehen, unbedenklich mit der krummen Linie selbst vertauscht werden darf. K_a und K_b sind die Mittelpunkte beider Kreise, die zu A und B gehörigen *Krümmungszentren;* wir wählen auf der Peripherie die beiden Punkte G und H so, dass $\sphericalangle AK_aG = \sphericalangle BK_bH = 1^0$ wird. Schneiden die Radien K_aG und K_bH die Kurve selbst resp. in G_1 und H_1, so wird annähernd $AG_1 = AG$ und $BH_1 = BH$ gesetzt werden können. Nun wird weiter angenommen, dass durch direkte Gradmessung die Länge AG_1 und BH_1 ermittelt seien; das Verhältnis, in welchem sie numerisch zu einander stehen, wird der Art nach das gleiche bleiben, wenn AG_1 nicht unmittelbar am Aequator und BH_1 nicht unmittelbar am Pole abgemessen worden ist. Da,

Fig. 2.



wie die Figur zeigt, $BK_b > AK_a$ und $BH_1 > AG_1$ ist, so kann man das nachstehende Kriterium aufstellen:

Der äquatoriale Durchmesser eines Ovalkörpers ist länger, als der polare, wenn die Gradlängen vom Aequator zu den Polen hin wachsen, und das umgekehrte Verhalten beider Durchmesser tritt ein, wenn die Gradlängen vom Aequator zu den Polen hin abnehmen.

Jetzt kam es darauf an, dieses Kriterium, welches um 1600 der Jesuit *Milliet Dechales* zuerst formuliert zu haben scheint, für die Frage der Erdgestalt praktisch zu verwerten. Fürs erste nahmen Vater und Sohn *Cassini* eine Gradmessung in Frankreich längs dem Meridiane von Paris vor, und daraus schien zu folgen, dass im südlichen Teile dieses Landes die Meridiangrade grösser seien, als im nördlichen. Daraufhin galt die Erde längere Zeit als ein *verlängertes* oder *gestrecktes Sphäroid,* d. h. als ein Körper, der durch

die Umdrehung einer Ellipse um ihre grosse Achse entstanden zu denken ist. Zumal die Franzosen hielten zäh an diesem vermeintlichen Messungsresultate fest, während die in *Newtons* strengerer Schule herangebildeten Engländer diese Möglichkeit in Abrede stellten. Schon damals hielt man dafür, dass, ähnlich wie es unser erster Abschnitt im einzelnen darlegte, die Erde ursprünglich eine Kugel aus weichem Stoffe gewesen sei; durch die Achsendrehung habe sie sich allmählich abgeplattet und in ein Ellipsoid verwandelt, wie es sonst durch Umdrehung einer Ellipse um die kleine Achse zu stande kommt [1]). Einen solchen Rotationskörper nennt man ein *abgeplattetes Sphäroid.*

Das einzige verlässliche Mittel, zur Klarheit und Entscheidung zu gelangen, war eine nochmalige, über weit voneinander entfernte Teile der Erde ausgedehnte Gradmessung. Im Jahre 1735 setzte die Pariser Akademie eine solche ins Werk; eine Expedition unter *Maupertuis* ward nach Lappland, eine zweite, in deren Leitung *Bouguer* und *De la Condamine* sich teilten, ward nach Peru gesendet, und als nach einigen Jahren die hier und dort erzielten Messungsergebnisse verarbeitet und dem Vergleiche unterstellt waren, musste, obwohl *Maupertuis* sich seiner Aufgabe nicht völlig gewachsen gezeigt hatte, trotzdem als sicher anerkannt werden, dass der subpolare Grad beträchtlich grösser war, als der äquatoriale. Damit war der Streit geschlichtet, um so mehr, als man um dieselbe Zeit auch in Erfahrung brachte, dass durch Pendelbeobachtungen eine von Längenmessungen unabhängige Bestätigung der erwähnten Thatsache zu erzielen sei.

Das Pendel als geodätisches Instrument. Im Jahre 1743 veröffentlichte nämlich *Clairaut* seinen bald berühmt gewordenen „*Traité de la figure de la Terre, tirée des principes de l'hydrostatique,*" worin er das seinen Namen tragende Theorem aufgestellt und bewiesen hatte. Wenn $2a$ die grosse, $2b$ die kleine Achse der Meridianellipse ist, und wenn durch α die sogenannte *Abplattung*, d. h. der echte Bruch $\frac{a-b}{a}$ ausgedrückt wird, wenn endlich l_{90} die Länge des Sekundenpendels an einem der Pole, l_0 diese Länge am Aequator und f_0 die längs des letzteren herrschende Zentrifugalbeschleunigung $= \frac{2a\pi^2}{T^2}$ bedeutet, unter T die in Sekunden ausgedrückte Länge des Sterntages verstanden, so gilt folgende Gleichung [2]):

$$\alpha + \frac{l_{90} - l_0}{l_0} = \frac{5}{2} \cdot \frac{f_0 \pi^2}{l_0}.$$

[1]) Experimente zur Veranschaulichung dieses Vorganges waren von *Huygens* angegeben worden.

[2]) Um zu erkennen, dass die beiden Formen, in denen wir die *Clairaut*sche Gleichung anschrieben, identisch sind, muss man sich gegenwärtig halten, dass

In Worten ausgesprochen, heisst dies, es ist:

$$\text{Abplattung} + \frac{\text{Zunahme der Schwerkraft vom Aequator zum Pol}}{\text{Schwerkraft am Aequator}}$$
$$= \frac{5}{2} \text{ mal } \frac{\text{Schwungkraft am Aequator}}{\text{Schwerkraft am Aequator}}.$$

Zunächst scheint noch der numerischen Auswertung der *Clairaut*schen Formel das Hindernis entgegenzustehen, dass in ihr l_{90} vorkommt, also ein Wert, den vielleicht niemals ein Mensch messen wird, jedenfalls aber noch keiner gemessen hat. Indessen ist diese Schwierigkeit nur eine scheinbare, und auch eine Reise an den Aequator ist nicht erforderlich, denn aus den von *Huygens* aufgefundenen Sätzen erhellt, dass, wenn φ_1 und φ_2 zwei beliebige geographische Breiten [1]) vorstellen, unter denen die Längen l_{φ_1} und l_{φ_2} des Sekundenpendels wirklich gemessen wurden, die unbekannten Grössen l_0 und l_{90} sich mittels der folgenden beiden Gleichungen leicht berechnen lassen:

$$l_0 = l_{\varphi_1} - \frac{(l_{\varphi_1} - l_{\varphi_2}) \sin^2\varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)\sin(\varphi_1 - \varphi_2)} = l_{\varphi_2} - \frac{(l_{\varphi_1} - l_{\varphi_2}) \sin^2\varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)\sin(\varphi_1 - \varphi_2)},$$
$$l_{90} = l_0 + \frac{l_{\varphi_1} - l_{\varphi_2}}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Unter der Voraussetzung also, dass von zwei nicht auf demselben Parallelkreise gelegenen Orten die Länge des Sekundenpendels gemessen vorliegt, kann man nach dem Clairautschen Theoreme die Abplattung a priori berechnen.

Kombination von Grad- und Pendelmessungen. Auf der anderen Seite besitzt man auch Mittel, denselben Zweck vermittelst zweier an verschiedenen Stellen der Erde ausgeführten Gradmessungen zu erreichen. G_{φ_1} und G_{φ_2} sind die absoluten Längen zweier Grade, deren Mitten durch die geographischen Breiten φ_1 und φ_2 bestimmt sind; versteht man dann unter e die *numerische Exzentrizität* der Meridianellipse, so ist nach einer von *Bohnenberger* angegebenen Formel

man (s. o.) für irgend einen Erdort die Schwerkraftsgrösse erhält, wenn man die dortselbst gemessene Länge des Sekundenpendels mit π^2 multipliziert.

[1]) Auf dem Ellipsoide hat man zwischen *geozentrischer* und *geographischer Breite* zu unterscheiden, während für die Kugel diese beiden Begriffe in einen zusammenfallen. Ersteren Winkel erhält man, wenn man den zentralen Radiusvektor eines Ortes, letzteren, wenn man die zu diesem Orte gehörige Normale an die Fläche zieht. Der Winkel zwischen diesen beiden Linien, die Differenz zwischen der geographischen und geozentrischen Breite, ist jedoch bei der geringen Abplattung des Erdellipsoides immer nur klein, indem er im Maximum 11′ 38″ beträgt.

$$e = \sqrt{\frac{G_{\varphi 1}^{\frac{2}{3}} - G_{\varphi 2}^{\frac{2}{3}}}{G_{\varphi 1}^{\frac{2}{3}} \sin^2\varphi_1 - G_{\varphi 2}^{\frac{2}{3}} \sin^2\varphi_2}}.$$

Um aber unser obiges α aus e zu erhalten, braucht man bloss daran zu denken, dass

$$\alpha = \frac{a - b}{a}, \quad e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}, \quad \alpha = 1 - \sqrt{1 - e^2}$$

ist. Die *Gestalt des Erdkörpers* ist somit durch physikalische wie durch geodätische Messung gleichmässig bestimmt; für die *Grösse* desselben erweist sich die erstere unzureichend, während die Gradmessungen auch hierfür das Mittel an die Hand geben. Es ist nämlich, wenn alle bisherigen Bezeichnungen beibehalten werden,

$$a = \frac{180\, G_{\varphi 1}(1 - e^2 \sin^2\varphi_1)^{\frac{3}{2}}}{\pi(1 - e^2)} = \frac{180\, G_{\varphi 2}(1 - e^2 \sin^2\varphi_2)^{\frac{3}{2}}}{\pi(1 - e^2)},$$

$$b = a\sqrt{1 - e^2}.$$

Selbstredend lag den von berufenen Autoritäten ausgeführten Berechnungen der Erddimensionen nicht bloss je ein Paar von Messungen zu Grunde, sondern eine ganze Anzahl von solchen. Die für a und e daraus berechneten Werte werden sämtlich, wenn auch nur um geringe Beträge, voneinander abweichen, und man macht deshalb von der Wahrscheinlichkeitsrechnung, von der sogenannten *Methode der kleinsten Quadrate,* Gebrauch, um die als die besten zu betrachtenden Werte herauszufinden.

Der oben erwähnten Doppelgradmessung der Franzosen sind nun weiter fast unzählige andere in den verschiedensten Teilen der Erde ausgeführte, gefolgt, und nicht minder hat man umfängliche Reihen von Pendelmessungen gesammelt, um auf die eine und andere Weise die Dimensionen des Erdkörpers mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln. Man überzeugte sich, dass die Erde jedenfalls nicht, wie von mancher Seite gemutmasst ward, ein *Ellipsoid mit drei ungleichen Achsen* [1]), sondern dass ein Umdrehungsellipsoid immer noch am geeignetsten sei, die verschiedenen und keineswegs unter sich vollkommen stimmenden Messungen zu wechselseitigem Ausgleiche zu bringen. Von den Berechnungen der Erdabmessungen stellt man allseitig am höchsten diejenigen von *Bessel* und von *Clarke,* deren wichtigste Resultate nachstehend eine kleine Tabelle zur Kenntnis bringt:

[1]) Allerdings hat *Jacobi* gezeigt, dass für eine flüssige rotierende Masse, auf deren Atome nur die gegenseitige Anziehung und die Zentrifugalkraft wirken, auch gewisse dreiachsige Ellipsoide als *Gleichgewichtsfigur* gelten können. Das Achsenverhältnis ist aber ein ganz anderes, als wir es bei unserem Erdsphäroide, solange es noch in einem nachgiebigeren Aggregatzustande sich befand, voraussetzen dürfen.

	Bessel	*Clarke*
Abplattung	1 : 299,1528	1 : 294,9790
Grosse Halbachse	6 377 397,16 m	6 378 206,51 m
Kleine Halbachse	6 356 078,96 „	6 356 583,88 „
Aequatorialquadrant	10 017 596 „	10 018 862 „
Meridianquadrant [1])	10 000 856 „	10 001 887 „

Der Unterschied zwischen grosser und kleiner Achse ist, wie man sich überzeugt, gering genug, um uns für gewöhnlich zu berechtigen, die Erde als eine Kugel zu betrachten und zu behandeln. Offenbar wird diejenige Kugel zu wählen sein, welche denselben Kubikinhalt besitzt, wie das Sphäroid; demzufolge gelten diese Gleichungen (r Kugelradius):

$$\frac{4}{3} r^3 \pi = \frac{4}{3} a^2 b \pi, \quad r = \sqrt[3]{a^2 b}.$$

Gemeiniglich wird $r = 6370$ km, der Erddurchmesser also $= 12740$ km gesetzt.

Abweichungen der Erdgestalt vom Ellipsoide. Bis vor ungefähr zwanzig Jahren waren alle beteiligten Kreise der Ansicht, dass, wenn nur jede einzelne Messung, einerlei ob geodätischer oder physikalischer Natur, mit grösstmöglicher Schärfe ausgeführt, und wenn zudem die Ausgleichungsrechnung geeignet angewendet würde, das Ziel, eine genaue Erkenntnis der Erdgestalt, unter allen Umständen erreicht werden müsste. Denn, so schloss man, die Erdoberfläche, dargestellt durch eine absolut ruhige Wasserfläche, ist thatsächlich ein zweiachsiges Ellipsoid, und wenn die einzelnen Messungen zu verschiedenen Ellipsoiden zu führen scheinen, so ist daran eben nur die unvermeidliche Fehlerhaftigkeit der Messungen selbst schuld. Es war das Verdienst eines deutschen Mathematikers, *Philipp Fischers*, diese irrige Annahme zuerst als solche erkannt zu haben; er bestritt, dass die Methode der kleinsten Quadrate für sich allein eine Bürgschaft für die Beseitigung der zwischen den Gradmessungen und Pendelbeobachtungen sich ergebenden Diskrepanzen gewähre, und brach der heute massgebenden Anschauung die Bahn, deren Wesen sich folgendermassen skizzieren lässt:

Die Erde, wie sich ihre Gestalt im unbewegten Spiegel des Meeres und in der ideellen Fortsetzung dieser Fläche unterhalb der Kontinente ausspricht, ist kein Rotationsellipsoid, ist überhaupt keine regelmässige, nach einem bestimmten Gesetze gebildete Fläche, sondern ein zweidimensionales Gebilde, das zwar im allgemeinen einen ellipsoidischen

[1]) Obige Zahl beweist, dass die von den französischen Schöpfern des metrischen Systemes gehegte Ansicht, als sei die neue Masseinheit ganz genau dem zehnmillionten Teile eines Quadranten der Meridianellipse gleich, eben nichts weiter war als eine Fiktion.

Charakter besitzt, aber trotzdem mit keinem wie immer beschaffenen Ellipsoide sich vollkommen deckt.

Man nennt nach dem Vorgange *Listings* diese der wahren Erdgestalt entsprechende Fläche *Geoid* (γῆ, die Erde; εἰδής, ähnlich). Wenn die Dinge sich so verhalten, wie wir sie soeben kennzeichneten, so leuchtet ein, dass die älteren Bemühungen, der Gestalt der Erde auf die Spur zu kommen, aussichtslos sein mussten. Erst jetzt ist man in der Lage, dem allerdings überaus schwierigen Probleme mit wirklicher Aussicht auf Erfolg zu Leibe gehen zu können.

In erster Linie verhilft hierzu die von General *v. Baeyer* zu Anfang der sechziger Jahre unter der bescheideneren Beschränkung auf Mitteleuropa ins Leben gerufene und seitdem mehr und mehr ausgestaltete *europäische Gradmessung,* durch welche nunmehr unser Erdteil samt den benachbarten Teilen von Asien und Afrika durch ein dichtmaschiges Netz von Dreiecken übersponnen erscheint. Als dieses grosse Werk begonnen ward, hielt man im wesentlichen noch an der älteren Auffassung vom Wesen der Erdgestalt fest; mehr und mehr aber trug man der veränderten Sachlage Rechnung, wobei sich besonders der Einfluss deutscher Mitglieder der *permanenten Gradmessungskommission* — *Bruns, Helmert* u. a. — geltend machte, und gegenwärtig betrachtet es die Gradmessung als Hauptaufgabe, *die lokalen Abweichungen des Geoides von einem sich ihm möglichst genau anschliessenden Sphäroide im Einzelfalle festzustellen.* Dieses letztere führt nach *Helmerts* Vorschlage den bezeichnenden Namen *Referenzellipsoid;* auf dieses werden die einzelnen Geoidpunkte projiziert, auf ihm werden die geodätischen Polygone [1]) gebildet, welche dem eigentlichen Vermessungszwecke dienen, und es ist also, da die Entfernung eines Geoidpunktes A von dem ihn ersetzenden Punkte A' des Bezugsellipsoides niemals eine sehr beträchtliche ist, die Möglichkeit gegeben, mit dem Sphäroide selbst für gewöhnlich zurecht zu kommen. Nur muss man natürlich wissen, wie gross jedesmal die Entfernung AA' ist; hierauf werden wir nachher zurückkommen, wenn wir zuvor von der Möglichkeit, die geoidischen Unregelmässigkeiten überhaupt als solche zu erkennen, Rechenschaft gegeben haben.

Unregelmässige Verteilung der Erdschwere. Sowohl bei den Pendelbeobachtungen als auch bei den Gradmessungen hatte man bemerkt, dass die Schwere der Erde *nach Grösse und Richtung* sich nicht immer so veränderte, wie es für einen ellipsoidischen Körper von gesetzmässiger Innenbeschaffenheit zu erwarten war. Was zunächst die Pendelschwingungen anbelangt, so sollte das Gesetz gelten, nach welchem die Länge l_φ des Sekundenpendels unter der geographischen Breite φ mit dieser durch die Gleichung

$$l_\varphi = \alpha + \beta \sin^2 \varphi$$

[1]) Als *geodätische Linie* gilt auf einer beliebigen Fläche diejenige, welche zwischen zwei Punkten letzterer die kürzeste Verbindung herstellt. Aus den Bogen dieser Linien, die auf der Kugel ausnahmslos grösste Kreise sind, werden dann geodätische Dreiecke und Vielecke gebildet.

zusammenhängen sollte, wobei α und β gewisse, empirisch zu bestimmende Konstanten vorstellten. Wäre dem so, so müsste die *Pendelschwere* selbst für jeden Parallelkreis konstant sein. Dies traf jedoch nicht zu, vielmehr stellten sich bemerkenswerte Unterschiede nicht bloss nach dem wechselnden Untergrunde [1]), über welchem das Pendel seine Schwingungen machte, sondern auch, und zwar in weit stärkerem Masse, gemäss der mehr marinen oder kontinentalen Lage des Beobachtungsplatzes heraus. Seit 1842 *Saigey* zuerst auf diese Anomalie hingewiesen, *Hann* sie später rechnerisch näher geprüft hatte, fand sich immer mehr Material zum Studium der Erscheinung hinzu, und heutzutage wissen wir genug, um einen Erfahrungssatz des folgenden Inhaltes formulieren zu können:

Die Schwere, wie sie das Pendel signalisiert, ist am grössten auf freier See, sie nimmt auf grösseren Inseln und am Rande der Kontinente ab und wird um so geringer, je weiter die Beobachtungsstation vom Meeresufer entfernt liegt.

Die Erklärung dieses auf den ersten Anblick ziemlich auffallenden Wechsels in der Intensität der irdischen Schwerkraft kann noch keineswegs als eine vollständig gesicherte gelten. Als wahrscheinlichster Grund muss jedoch zur Zeit der von *Faye* angeführte betrachtet werden: danach wäre die feste Erdkruste am mächtigsten unter den Ozeanen, und ihre Dicke verminderte sich bei grösserer Annäherung an das Festland, um unterhalb der eigentlichen Kontinentalmassen ihre geringste Mächtigkeit zu erreichen. Allerdings lagern über den Kontinenten die gewaltigen Gebirge, allein die Gravitationswirkung derselben verstärkt nicht direkt die von der Erdrinde ausgeübte Attraktion, sondern sie kombiniert sich mit dieser in der Weise, dass die scheinbare Schwererichtung von der wirklichen Vertikalen abgelenkt wird. Hiermit sind wir zu den oben schon erwähnten Richtungsveränderungen der Schwere gelangt, welche wir kurz unter dem Namen *Lotstörungen* zusammenfassen.

In früheren Jahren brachte es der Zustand der astronomischen Beobachtungskunst mit, dass wirklich Lotabweichungen beobachtet wurden. Man hatte die Entfernung AB zweier Orte der Erdoberfläche, zwischen denen sich etwa ein Berg von bedeutender Masse befand, geodätisch durch Dreiecksverbindung ermittelt, und dann wusste man auch, unter welchem Winkel die in A und B an die Erdoberfläche gelegten Normalen sich durchschneiden mussten; war die Erde als Kugel vom Radius r vorausgesetzt, so war dieser Zentriwinkel gleich $\frac{AB \,.\, 180}{r\pi}$, und unter Zugrundelegung der sphäroidischen Hypothese war dessen Berechnung ebenfalls eine leichte Aufgabe der analytischen Geometrie. Wenn nun an jedem der

[1]) Nach den Untersuchungen von *A. v. Humboldt* und *Sabine* kann es als sicher gelten, dass die Beschaffenheit des Untergrundes, seine lockere oder feste Zusammensetzung, auf die Pendelschwingungen einen gewissen Einfluss ausübt, indem nämlich festes Gestein eine geringfügige Beschleunigung verursacht. Ob auch die geognostische Formation zu berücksichtigen ist, weiss man noch nicht sicher.

beiden Orte die Polhöhe gemessen ward, so liess sich aus diesen Polhöhen sowie aus der Grösse von AB rechnerisch die Grösse des Winkels, unter dem sich die Lotrichtungen schneiden mussten, herleiten, und da ergab sich denn eine Differenz zwischen dem astronomisch und dem geodätisch berechneten Divergenzwinkel. Das am Quadranten aufgehängte Senkel zeigte nämlich nicht nach dem *wahren Zenit* der Orte A und B, sondern, da dieses Bleilot von der Masse des Berges nach diesem hingezogen wurde, so ergab sich für jeden Ort ein *falsches Zenit*, und diese beiden falschen Zenitrichtungen durchschnitten sich unter einem grösseren Winkel, als derselbe für die beiden wirklichen Lotrichtungen ausgefallen wäre. Durch solches Verfahren eruierten zuerst im Jahre 1768 *Hutton* und *Maskelyne* die von dem schottischen Berge Shehallien bewirkte Lotablenkung.

Das am Winkelmessinstrumente angebrachte Bleilot ist allerdings jetzt ganz ausser Dienst gestellt, dafür aber besitzt man in der *Libelle* oder *Wasserwage,* die vor nunmehr zweihundert Jahren der Pariser Mechaniker *Thévenot* in die feldmesserische Praxis einführte, ein noch ungleich empfindlicheres Hilfsmittel zum scharfen Nachweise von Lotstörungen. Es ist dies eine zylindrische, nach einem sehr grossen Krümmungshalbmesser oben kreisförmig ausgeschliffene Röhre, die mit einer gefärbten Flüssigkeit von geringem spezifischem Gewichte fast vollständig erfüllt ist. Die Ebene, auf welche man die Libelle aufgesetzt hat, bildet mit der *thatsächlichen Lotrichtung* dann einen rechten Winkel, wenn der kleine, flüssigkeitsfreie Raum der Röhre, uneigentlich [1]) *Luftblase* genannt, genau in der Mitte dieser Röhre einspielt, was durch eine in das Glas geätzte Teilung leicht konstatiert werden kann. Man bestimmt demgemäss mittels der Wasserwage noch sicherer die wahre Lotrichtung, als mit dem den Einwirkungen des Windes und anderen Fehlerquellen ausgesetzten Senkel. Neigt sich das wirkliche Lot einer ablenkenden Masse zu, so wird die Ebene, auf welcher die Libelle ruht, gleichfalls auf der dieser Masse zugekehrten Seite ansteigen, auf der von jener abgewendeten Seite hingegen sich senken, und der Winkel, den die Ebene in dieser Stellung mit dem wahren Horizonte des Beobachtungspunktes einschliesst, ist gleich demjenigen, den die geometrische und die durch laterale Anziehung beeinflusste Lotrichtung miteinander bilden.

Nahezu allenthalben im Inneren massiger Gebirge, mehr noch aber an deren Rande hat man solche Lotablenkungen nachzuweisen vermocht, doch gehen die Lotablenkungswinkel durchweg nicht über die Grösse von Sekunden hinaus; die auf der Ilsenburg im Harz beobachtete Lotabweichung von etwas mehr als 11″ gilt bereits als eine ungewöhnlich grosse. Uebrigens sind nicht bloss Berge im stande, das Bleilot abzuziehen; auch bei sehr massigen Bauwerken, wie z. B. die Cheops-Pyramide ein solches ist, ergibt sich ein noch

[1]) Aeltere Instrumente dieser Art, bei denen Weingeist die Füllflüssigkeit bildete, hatten in ihrem Inneren eine wirkliche Luftblase, und von ihnen wurde diese jetzt nicht mehr passende Bezeichnung übernommen.

ins Bereich des Messbaren fallender *Deviationswinkel,* und gleichermassen bemerkt man kleine Lotbewegungen, wenn sich Hohlräume während eines Teiles des Tages — bei Flut — mit Wasser füllen, während eines anderen Teiles aber leer bleiben. *Robison* und *Keller* haben diese attraktive Wirkung von Flüssigkeitsmassen mittels verschiedener Belege ausser Zweifel gestellt.

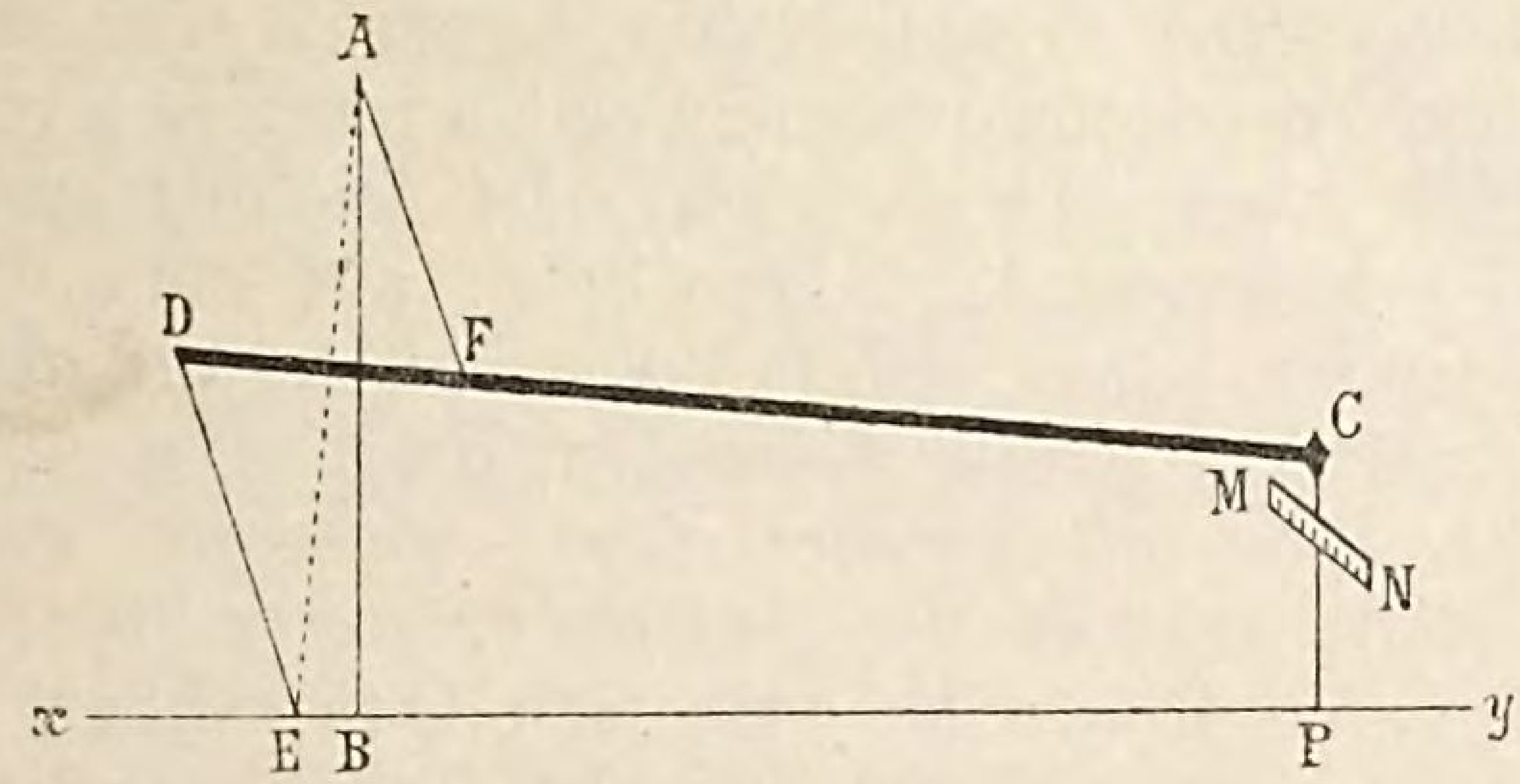
Die Lotanziehung erzeugt eine *positive* Lotablenkung; es gibt jedoch auch *negative* Deviationen, bei denen seitliche Massen eher eine zurückstossende Wirkung zu bethätigen scheinen. Zumal am Südabhange des Kaukasus hat man solche Wahrnehmungen gemacht, und man suchte sie auf den Höhlenreichtum des Gebirges zurückzuführen, allein andererseits sind im Bereiche anderer Kalkgebirge, deren innere Zerklüftung eine fast sprichwörtliche ist, wie etwa des Karstes, solche Lotabstossungen noch nicht zur Beobachtung gekommen. Immerhin vermögen wir uns von der Möglichkeit einer negativen Deviation nur durch die Annahme eine Vorstellung zu machen, dass sich nahe dem betreffenden Orte ein umfangreicherer unterirdischer Bezirk befindet, *welcher entweder ganz hohl oder doch mit Massen von verhältnismässig sehr geringer Dichte ausgefüllt ist.* Mit grosser Wahrscheinlichkeit durfte *Schweizer* das Vorhandensein einer grossen subterranen Aushöhlung für den Boden postulieren, auf welchem Moskau steht, und neuerdings hat das preussische geodätische Institut auch die südliche Umgebung von Berlin als eine Gegend der Lotabstossung erkannt. Es liegt nahe, an die ungeheuren Steinsalzlager zu denken, welche bei Sperenberg aufgeschlossen sind, und denen man allerdings ihrer Mächtigkeit nach eine solche ablenkende Wirkung wohl zutrauen darf.

Anderweite Mittel, die Schwere zu messen. Die Richtung der Schwere zu messen, wird wohl stets das Flüssigkeitsniveau die bequemste und zuverlässigste Vorrichtung bleiben, und auch die Grösse g scheint mit dem Sekundenpendel am genauesten erhalten werden zu können. Indessen hat die Physik der Erde auch manch anderes Mittel zur direkten Messung von Gravitationsdifferenzen zu prüfen gehabt, und obwohl die betreffenden Untersuchungen noch lange nicht ihren Abschluss gefunden haben, so sind diese Apparate doch bekannt genug, um auch an dieser Stelle wenigstens kurz besprochen zu werden.

I. *Das Horizontalpendel.* Dasselbe ist im wesentlichen eine Verbesserung der schon zu Anfang dieses Jahrhunderts erfundenen *Schwungwage* von *Hengler,* mit der uns *Fig. 3* bekannt macht. xy ist der horizontale Fussboden eines Zimmers, CD ein bifilar aufgehängter dünner Balken, von dem ein Punkt D mit dem Boden bei E, ein zweiter Punkt F mit der Decke bei A durch je einen Faden verbunden ist. Die Empfindlichkeit des Instrumentes steigert sich, je näher E bei B, dem vertikal unter A gelegenen Punkte, sich befindet. In seiner Normallage steht der Wagebalken so, dass er mit den beiden Fäden in der nämlichen Vertikalebene sich befindet, und dass eine von C auf xy gefällte Senkrechte durch den Null-

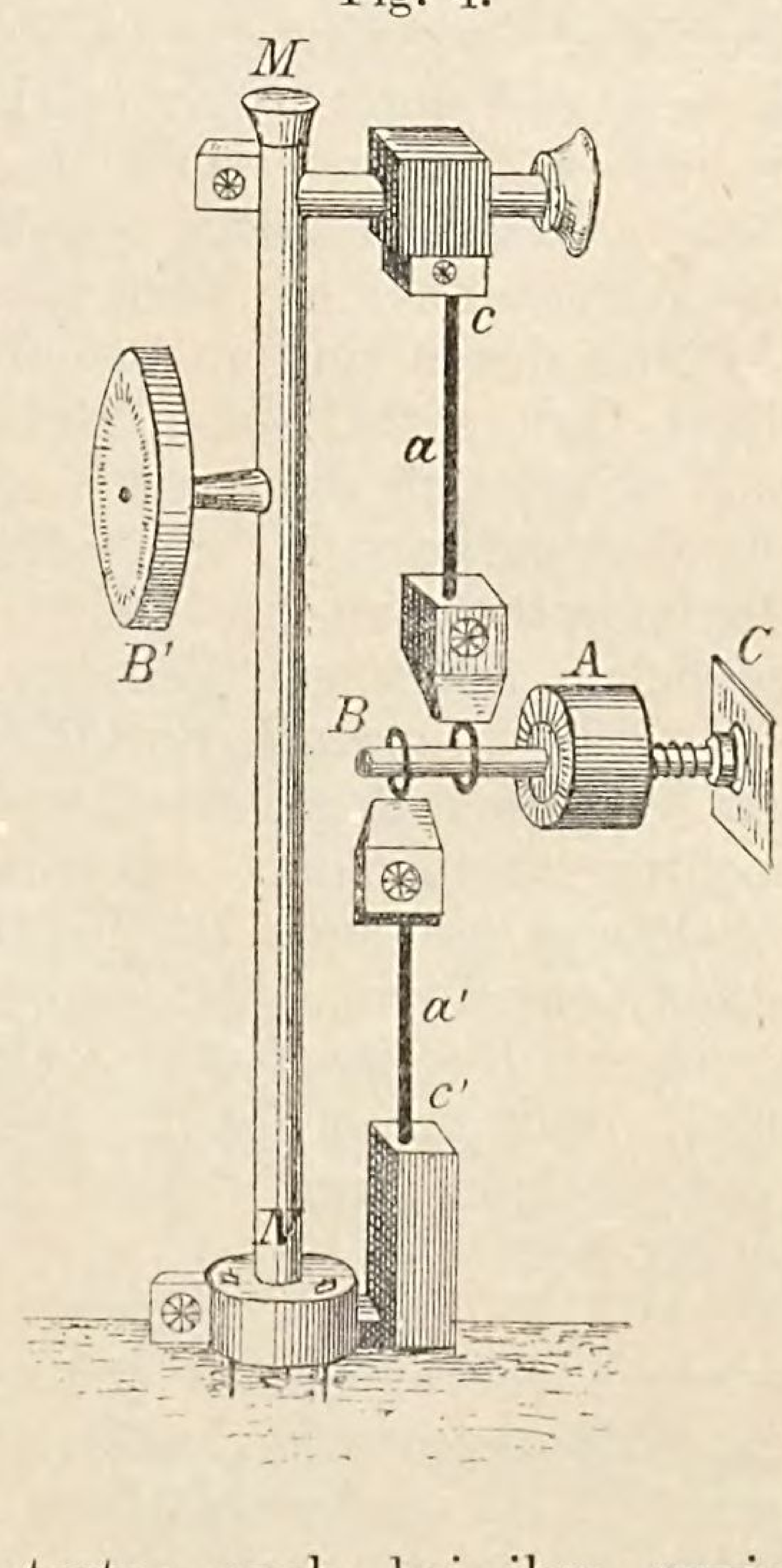
punkt der senkrecht zu CP und xy aufgestellten Skala MN geht, an welcher die Schwingungen des Balkens sich markieren.

Fig. 3.



Zöllners Horizontalpendel (*Fig. 4*) hat die Fäden durch Uhrfedern a und a' ersetzt, welche bei c und c' fest in parallelepipedischen Büchsen stecken; dem früheren Wagebalken entspricht die Stange BC, welche bei A ein die Spannung vermehrendes Gewicht, bei C einen Planspiegel trägt; das Ganze aber ist angeschraubt an die Tragsäule MN, welche durch ein Gegengewicht B' vor dem Verbiegen gesichert wird. Bringt man, wie es *Poggendorff* gelehrt hat, eine horizontale Skale mit senkrecht zu ihr fixiertem Horizontalfernrohre so an, dass im Ruhezustande der Nullpunkt der Skale genau im Mittelpunkte des Spiegels gesehen wird, so kann man offenbar auch minimale Schwankungen der Stange BC, wie sie durch die Annäherung eines anziehenden Körpers bewirkt werden, beobachten und messend verfolgen. Die ungeheure Empfindlichkeit des Apparates ist sogar sein Fehler, denn schon eine kleine Ortsveränderung des Experimentators, die ja gar nicht vermieden werden kann, versetzt das Horizontalpendel in ziemlich lebhafte Erzitterungen. Wesentlich auf dem gleichen Grundgedanken beruht ein Messapparat, den *G. H. Darwin* auf der Versammlung der britischen Naturforscher von 1881 vorwies und erläuterte; auch bei ihm erwies sich die Reaktionsfeinheit als eine so grosse und störende, dass *Darwin* das die Gravitationsveränderungen signalisierende Pendel, um die Lebhaftigkeit seiner Schwingungen zu dämpfen, in einer Mischung von Wasser und Weingeist oszillieren lassen musste.

Fig. 4.



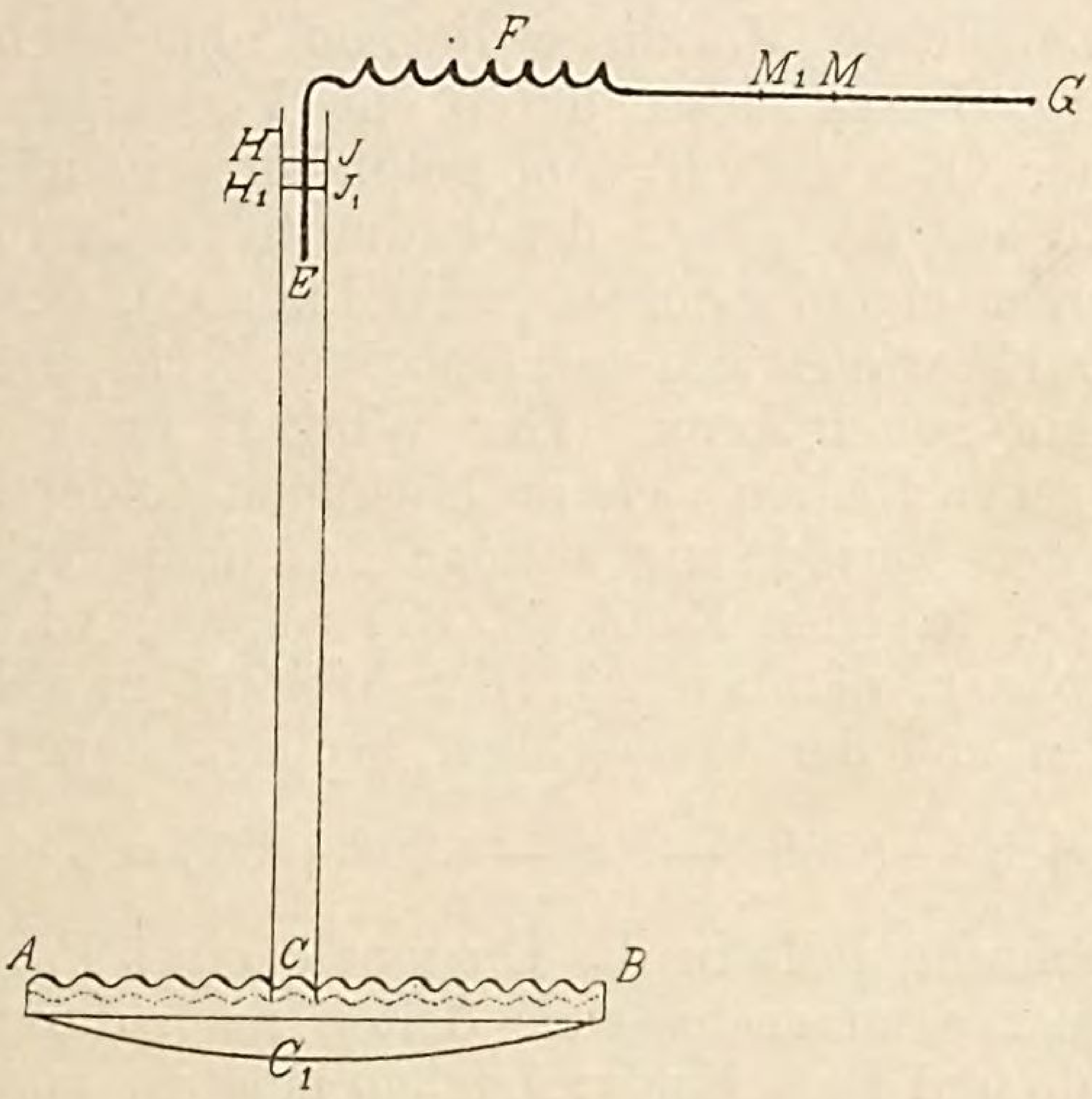
II. *Das Mascartsche Gas-Volumeter.* Zu *relativen Schwerebestimmungen*, wenn es sich also bloss um das Verhältnis G_{φ_1} und G_{φ_2} zweier den Polhöhen φ_1 und φ_2 entsprechenden Schwerkräfte, nicht jedoch um die absolute Bestimmung einer derselben handelt, dürfte der *Mascart*sche transportable Apparat sehr geeignet sein, mit welchem der Forschungsreisende, wenn jener nur vor Zerstörung geschützt werden kann, ebenso leicht oder leichter operieren kann, als mit dem Sekundenpendel. Der Satz, auf dem das Verfahren beruht, ist folgender: *Zwei gleiche Volumina ein und desselben Stoffes werden bei gleicher Temperatur diese ihre Gleichheit so lange behaupten, als sie von der Erde mit gleicher Kraft angezogen werden; wächst aber die Attraktion, so wird das Gas ein grösseres Volumen annehmen.* In einer *U*-förmigen Röhre befindet sich Quecksilber und ein bestimmtes Gas, und zwar reicht bei der Temperatur t das Quecksilber bis zu einem gewissen Teilstriche des das Gas enthaltenden, geschlossenen Schenkels. Nunmehr werde die Röhre an einen anderen Erdort gebracht und wiederum der Temperatur t ausgesetzt; berühren sich auch jetzt noch Gas und Quecksilber an dem nämlichen Teilstriche, wie früher, so hat sich die Schwere nicht geändert; ist das Quecksilber gestiegen, so hat sich die Anziehungskraft des Erdkörpers vermindert; ist das Quecksilber gesunken, so hat sich diese Anziehungskraft verstärkt. Eine wesentliche Vervollkommnung erblickt *v. Oppolzer* darin, dass *Marek* in den geschlossenen Schenkel *flüssige schweflige Säure* gegeben hat. Uebrigens hat auch *Issel* an den Apparaten eine Verbesserung dadurch angebracht, dass er die *U*-Röhre durch ein fein ausgezogenes horizontales Glasrohr mit einem blosse Luft enthaltenden Rezipienten in Verbindung setzte. Diese Luft dehnt sich dann aus, wenn das Quecksilber im offenen Röhrenschenkel zurückgeht, und schiebt dabei — ähnlich, wie man es beim Maximumthermometer sieht — einen im Horizontalrohre frei beweglichen Index vor sich her.

III. *Vil arceaus Windflügelregulator.* Bei seinen Bemühungen, den *Watt*schen Regulator zu vervollkommnen und seine Umdrehungen isochron zu machen, was ihm in Verbindung mit *Bréguet* nahezu vollständig gelungen ist, hat *Yvon Villarceau* auch eine neue Theorie dieser Zentrifugalpendel aufgestellt und u. a. den folgenden Lehrsatz bewiesen: *Das Quadrat der Umdrehungsgeschwindigkeit ist der Schwerkraft direkt proportional.* Diese Thatsache erachtet *v. Oppolzer* für ganz geeignet, um darauf relative Schwerkraftsbestimmungen zu begründen.

IV. *Siemens' Bathometer.* Mit dem ursprünglichen Zwecke, zu welchem der berühmte deutsch-englische Physiker *William Siemens* sein *Bathometer* erfunden hat, werden wir uns weiter unten, in Abschnitt XII, zu beschäftigen haben; vorerst interessiert es uns nur insoweit, als wir mit seiner Unterstützung die Schwerkräfte zweier verschiedener Erdstellen zu vergleichen befähigt werden. Eine aus feinem Stahlblech hergestellte federnde Lamelle ist für einen bestimmten Erdort genau horizontal, wenn auf ihr eine gewisse Quecksilbersäule lastet; *A C B* (*Fig. 5*) sei die Lamelle, zentral zu ihr ist

ein Stahlrohr aufgesetzt, und in diesem reicht das Quecksilber bis zum Niveau — Tangentialebene des Meniskus — HJ. In das Quecksilber taucht bei E ein enges Glasrohr, welches ebenfalls noch zum Teile mit Quecksilber gefüllt ist; in seiner Fortsetzung ist dieses Rohr bei F spiralig gewunden und endlich mündet es in eine sanft nach oben ansteigende geradlinige Fortsetzung FG aus. Eine kurze, bei M an das Quecksilber anschliessende Säule von gefärbtem Weingeist dient zur Markierung des augenblicklichen Standes des Quecksilbers im oberen Rohre. Man begibt sich nun an einen Ort, für den die Erdschwere eine grössere ist; dann wird das Quecksilber und die

Fig. 5.



federnde Platte selbst stärker angezogen, und letztere erleidet eine Ausbauchung nach unten, so dass sie aus der normalen Lage ACB in die neue Lage AC_1B übergeht. Das Quecksilberniveau sinkt dann von HJ bis H_1J_1; diese Grösse $HH_1 = JJ_1$ ist fast unmerklich, dafür aber weicht das Ende der Weingeistsäule von M nach M_1 zurück, und diese Verschiebung fällt bei dem sehr geringen Kaliber der Röhre EG deutlich genug ins Auge. Natürlich existiert eine Formel, um aus der Länge der Strecke MM_1 auf die Vergrösserung von g schliessen zu können. Wie die Dinge sich gestalten, wenn g sich verringert, ist nun ohne besondere Erörterung wohl zu übersehen.

Bestimmung der Dichte der Erde. In naher Beziehung zu den Versuchen und Beobachtungen, mittels deren man Veränderungen des Betrages der Erdschwere messen kann, stehen diejenigen experimentellen Methoden, welche zur Ermittlung der *Erddichte* dienen. Dieselbe wird gefunden, wenn man mit dem *Volumen* in die *Masse der Erde* dividiert, und diese letztere ist es also, deren Bestimmung es in erster Linie gilt. Hätte man die Dichte, die bei

unserer Auffassung einerlei ist mit dem *spezifischen Gewicht,* gefunden und als ihren numerischen Wert etwa $\triangle$ erhalten, so würde dies folgendes bedeuten: *Denkt man sich den Erdball homogen und füllt von zwei hohlen Würfeln A und B den ersten mit dieser Erdsubstanz, den zweiten aber mit chemisch reinem Wasser von 4° C., so wiegt der Würfel A nunmehr $\triangle$ mal so viel, als der Würfel B.* Seit etwas über hundert Jahren steht die Aufgabe, $\triangle$ zu finden, auf der wissenschaftlichen Tagesordnung; die nach und nach zur Lösung derselben angewendeten Mittel finden im folgenden ihre Besprechung.

I. *Die Methode von Hutton und Maskelyne.* Das Wesen dieser Methode wurde schon oben (S. 31) wenigstens angedeutet. Ein zwischen den Stationen A und B, die wir der Bequemlichkeit halber als auf dem nämlichen Meridiane liegend annehmen wollen, sich erhebender Berg, dessen Masse durch eine Vereinigung geodätischer und geologischer Operationen $= m$ gefunden sein möge, lenkt in A und B die Lote aus der gegen den Erdmittelpunkt führenden Richtung gegen seinen eigenen Schwerpunkt hin ab [1]), dessen Lage, falls der Berg eine stereometrisch-regelmässige Form besitzt, ebenfalls wohl als bekannt gelten kann. Der Winkel, unter dem die nach A und B gezogenen Radien sich im Mittelpunkte der Erde schneiden würden, wäre der Vermessung zufolge 2α; dadurch, dass die Bleilote nach einem falschen Zenit (S. 31) zeigen, wird der Schnittwinkel aber grösser, nämlich 2β; der Winkel zwischen der wirklichen Normalen und der thatsächlich beobachteten Lotrichtung ist demzufolge gleich $\frac{1}{2}(360^0 - 2\alpha - 360^0 + 2\beta) = \beta - \alpha$. Die thatsächliche Lotrichtung fällt in die Diagonale eines Parallelogrammes, dessen im Lote zusammenstossende Seiten resp. durch die Schwerpunkte von Erde und Berg hindurchgehen müssen, und deren Längen resp. gleich $k \cdot \frac{\mu M}{r^2}$ und gleich $k \cdot \frac{\mu m}{\rho^2}$ gegeben sind, wobei k den Attraktionsfaktor [2]), μ die Masse der Lotkugel, ρ die Entfernung letzterer vom Schwerpunkte des Berges bedeutet. Da auch der Winkel, den die Lotrichtung mit der nach jenem Schwerpunkte führenden Linie bildet, als bekannt gelten und gleich γ gesetzt werden kann, so liefert uns das Parallelogramm der Kräfte mittels des Sinussatzes die Proportion

$$\sin(\alpha - \beta) : \sin\gamma = k \cdot \frac{\mu m}{\rho^2} : k \cdot \frac{\mu M}{r^2},$$

[1]) Man bemerkt, dass wir sowohl die Erde als die Bergmasse so behandeln, als wären sie (S. 23) zentrobarische Körper; ganz richtig ist dies nicht, und wenn das Lot unmittelbar am Fusse der Erhöhung aufgehängt war, so kann der Fehler sogar ein fühlbarer werden.

[2]) Das *Newton*sche Gravitationsgesetz besagt, dass zwei kugelförmige Massen m_1 und m_2, deren Mittelpunkte um d Längeneinheiten voneinander abstehen, sich gegenseitig mit einer Kraft anziehen, deren algebraischer Ausdruck $k \frac{m_1 m_2}{d^2}$ ist. Den Proportionalitätsfaktor k hat erst *Gauss* numerisch zu bestimmen gelehrt.

und aus dieser berechnet sich die gesuchte Erdmasse

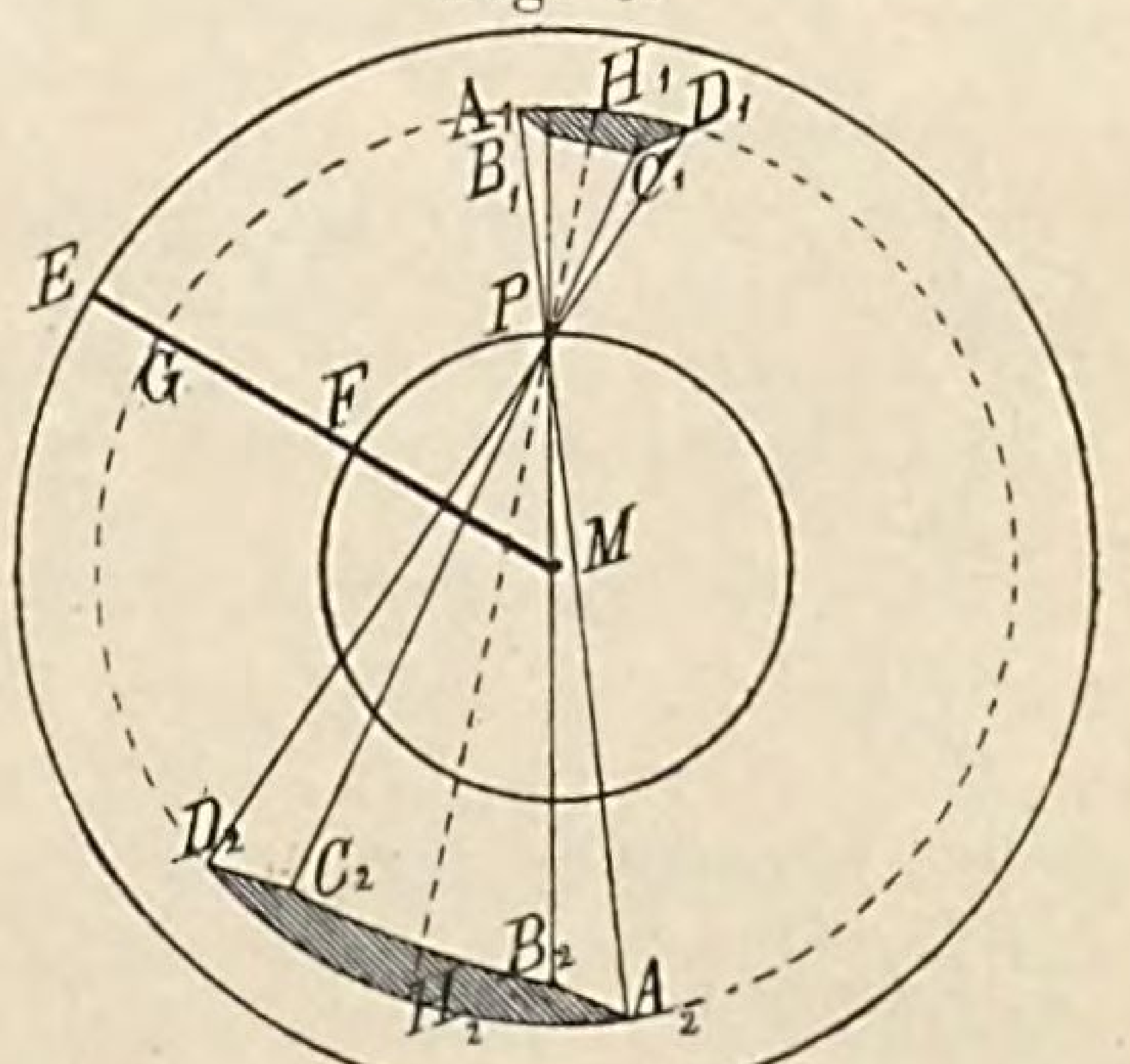
$$M = \frac{m r^2 \sin\gamma}{\rho^2 \sin(\alpha - \beta)}.$$

Die Grösse ρ, m und γ können niemals anders als nur sehr oberflächlich bekannt sein, und so vermag das Verfahren selbst nur eine rohe Annäherung zu ergeben; *Hutton* und *Maskelyne* fanden denn auch $\triangle$ (s. o.) = 4,68, was von der Wahrheit noch ziemlich weit abweicht.

II. *Die Methode der Pendelschwingungen.* Lässt man ein Pendel oben auf der Spitze eines Berges von bekannter Höhe und bekannter Dichte schwingen, so wird es, um Sekunden zu schwingen, eine etwas kleinere Pendellänge erhalten müssen, als ein gleichzeitig am Fusse dieses Berges seine Schwingungen vollziehendes Pendel. Die Differenz wird gemessen, und dann lässt sich wieder eine Gleichung ansetzen, in welcher die Masse M der Erde und die Masse m des Berges vorkommen. In diesem Sinne haben schon vor längerer Zeit *Carlini* und *Bessel* Messungen ausgeführt, aber erst später hat *Mendenhall* durch Wahl eines besonders passenden Berges wirkliche Erfolge auf dem bezeichneten Wege erzielt. Er bestieg nämlich den Fuji-no-yama auf Nipon, dessen Gestalt er zuvor als die eines Rotationskegels von 138° Oeffnung identifiziert hatte, und stellte auf ihm Pendelbeobachtungen an, aus welchen sich ein sehr guter Wert für die Erddichte, nämlich $\triangle = 5{,}77$ berechnete. Was die genannten Forscher durch Aufsteigen zur Höhe bezweckten, suchten *Drobisch, Airy, Haughton* und *v. Sterneck* durch grössere Annäherung an den Erdmittelpunkt zu erreichen, d. h. sie stellten Pendelmessungen in Bergwerken an. Die Grösse der in einer gewissen Tiefe unter dem Erdboden herrschenden Schwerkraft wird in bekannter Weise gefunden, nur hat man dabei zu beobachten, dass nicht die ganze Erdkugel anziehend auf das Pendel wirkt, sondern nur jene, deren Radius die Distanz des Erdzentrums und des Beobachtungspunktes ist[1]). So wichtig aber die *v. Sterneck*sche Beobachtungs-

[1]) Es gilt nämlich der schon von *Newton* gefundene Lehrsatz: *Die massive Kugelschale, welche zwischen der äusseren Begrenzungsfläche und einer durch den im Inneren gelegenen Punkt P gelegten Kugelfläche eingeschlossen ist, übt auf P gar keine Anziehung aus.* Den Beweis hierfür erbringt *Fig. 6*, worin M der Kugelmittelpunkt, ME der Kugelradius, MF der Radius der durch P gehenden Kugelfläche ist. Wir beschreiben mit einem Halbmesser MG, der $< ME$ aber $> MF$ ist, eine Kugelfläche und denken uns auf dieser eine unendlich kleine Figur $A_1 B_1 C_1 D_1$ abgesteckt, welche durch perspektivische Abbildung, mit P als Projektionszentrum, auf die entgegengesetzte Seite derselben Sphäre übertragen wird. Hier entsteht die ebenfalls unendlich kleine Figur $A_2 B_2 C_2 D_2$; beide Flächenstücke denken wir uns mit Masse von der Dichte Θ belegt und be-

Fig. 6.



reihe für unsere Kenntnis von der Verteilung der Schwere im Erdinneren (s. u.) ist, so wenig ist ihr zur Zeit für das uns gegenwärtig beschäftigende Problem zu entnehmen, denn je nach der erreichten Tiefe stimmten die Resultate für $\triangle$ ganz und gar nicht überein.

III. *Die Wägungsmethode.* Ungleich sicherer führt die von *Poynting* und *v. Jolly* gleichzeitig, aber mit vollster gegenseitiger Unabhängigkeit, erprobte *Anwendung der Wage* zum erwünschten Ziele. Wir nehmen eine gewöhnliche doppelarmige Wage von grosser Feinheit; an jeder ihrer beiden Schalen ist durch dünne Metalldrähte von gleicher Länge eine zweite Schale befestigt. In dem oberen Schalenpaar äquilibrieren wir einen Körper von der Masse m durch Gewichtsstücke, nehmen, nachdem die Zunge sich genau in die Gleichgewichtslage eingestellt hat, diesen Körper wieder fort und versetzen ihn in die vertikal darunter befindliche Schale, und sehen nun, da m jetzt in grösserer Nähe an der Erde sich befindet, also eine Gewichtszunahme erfahren hat, das Zünglein einen Ausschlag machen, aus welchem sich nach einer bekannten Formel der Elementarmechanik der Gewichtszuwachs $= a_1$ berechnet. Wiederum bringen wir jetzt unter die nämliche Schale eine grosse Bleikugel vom Radius ρ und vom spezifischen Gewichte δ; diese wirkt für sich anziehend auf m, und es ergibt sich ein grösserer Ausschlag der Zunge, der eine neue Gewichtszunahme $(a_2 - a_1)$ signalisiert. Die Kraft, mit welcher m und die Bleikugel sich wechselseitig anziehen, ist nach *Newton*, wenn k seine Bedeutung beibehält,

$$K = k \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{m \rho^3 \delta \pi}{s^2},$$

wo s den Abstand der Schwerpunkte der Hilfskugel und der Masse m bedeutet. Man kennt aber auch die gegenseitige Attraktion, die zwischen m und der Erdkugel obwaltet; es ist dies unser bekanntes g, und zwar ist

$$g = k \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{m r^3 \pi}{r^2} \Delta = k \cdot \frac{4}{3} \cdot m r \Delta \pi.$$

Das Verhältnis $K : g$ muss dem Gesagten zufolge dem Verhältnis $(a_2 - a_1) : a_1$ gleich sein, und so findet sich

stimmen die Anziehung, welche jede dieser Massen auf P ausübt. Beide Figuren können als eben gelten, und ein von P auf $A_1 B_1 C_1 D_1$ gefälltes Lot wird demnach auch auf $A_2 B_2 C_2 D_2$ senkrecht stehen. Wenn in P die Masse μ sich befindet, so sind diese beiden Anziehungsgrössen resp. $\Theta \cdot \mu \cdot A_1 B_1 C_1 D_1 \times \frac{1}{\overline{PH_1}^2}$ und $\Theta \cdot \mu \cdot A_2 B_2 C_2 D_2 \cdot \frac{1}{\overline{PH_2}^2}$, und diese beiden Ausdrücke sind einander gleich, da nach einem bekannten Satze der Raumlehre die Proportion $A_1 B_1 C_1 D_1 : A_2 B_2 C_2 D_2 = \overline{PH_1}^2 : \overline{PH_2}^2$ besteht. Solcher Pyramiden mit P als Spitze können wir aber unzählige konstruieren; es neutralisiert sich also selbst die Kugelfläche $4 \overline{MG}^2 \pi$, und da für jede zwischenliegende Kugelfläche ein gleiches gilt, so muss sich auch die ganze Schale, deren Dicke EF ist, selbst neutralisieren.

$$\frac{a_2 - a_1}{a_1} = \frac{k \cdot \frac{4}{3} \cdot m \rho^3 \delta}{k \cdot \frac{4}{3} \cdot m r \Delta s^2}; \quad \Delta = \frac{a_1 \rho^3 \delta}{(a_2 - a_1) r s^2}.$$

Auf diesem Wege fand *v. Jolly* $\Delta = 5{,}6 \pm 0{,}05$; wenn auch nach *Helmerts* wohlbegründeter Ansicht der wahrscheinliche Fehler etwas grösser als nur $\frac{1}{20}$ sein wird, so kann man diese Bestimmung doch gleichwohl als eine der Wahrheit sehr nahe kommende betrachten. Ueberdies haben *A. König* und *Richarz*, den Grundgedanken des Verfahrens festhaltend, nachgewiesen, dass dieses einer sehr erheblichen Verfeinerung fähig sei. Statt der einfachen Kugel benutzen dieselben einen Bleiklotz, der so durchbohrt ist, dass sich das eine Schalenpaar beim Versuche oberhalb, das andere unterhalb dieses Klotzes befindet, und so kommt die Anziehung desselben in vierfach verstärktem Masse zur Geltung; der sonst nur minimale Aufschlag, welcher $(a_2 - a_1)$ liefert, und der in jedem Falle durch ein entfernt aufgestelltes Fernrohr zu beobachten ist, wird vergrössert, und diese Vergrösserung wirkt zugleich so, dass die Genauigkeit des Verfahrens selbst eine entsprechend grössere wird.

IV. *Die Methode von Cavendish.* Zur genauen Messung sehr schwacher Kraftäusserungen erfand gegen 1770 der englische Physiker *Mitchell* die sogenannte *Drehwage*, die dann bald nachher durch Lord *Cavendish* in den Dienst der uns hier angehenden Aufgaben gestellt wurde. ab (*Fig. 7*) ist ein dünner Metalldraht, an dem ein schmaler, homogener Balken cd aufgehängt ist, und dessen Endpunkte wieder sind mit kleinen Kugeln f und g von genau gleichem Gewicht und Volumen beschwert. So steht die Wage im Gleichgewichte, und es wird sich, wenn für die Abhaltung von Luftströmungen gesorgt ist, keinerlei Bewegung bemerklich machen; sobald aber eine grössere Kugel h in die Nähe von f gebracht wird, gibt letztere Kugel der Anziehung von h nach und tritt aus der früheren Gleichgewichtslage heraus. Gleichzeitig aber sucht der durch diese Bewegung tordierte Draht ab den früheren Gleichgewichtszustand wieder herzustellen, und aus der Grösse des Ablenkungswinkels lässt sich die Dichte der Erde berechnen. Wir verzichten auf die Ableitung der bezüglichen Formel und geben nur, nach *Reich*, das Endresultat. μ sei die Masse der Kugel h, m die der Kugeln f und g, m' diejenige des halben Wagebalkens plus Aufhängevorrichtung, r der Erdhalbmesser, r' die Distanz $bc = bd$, p der Abstand der Skale vom Spiegel[1]), l_s die Länge des Sekundenpendels am Beobachtungsorte, q der Abstand der Mittelpunkte der Kugeln h und f, B die

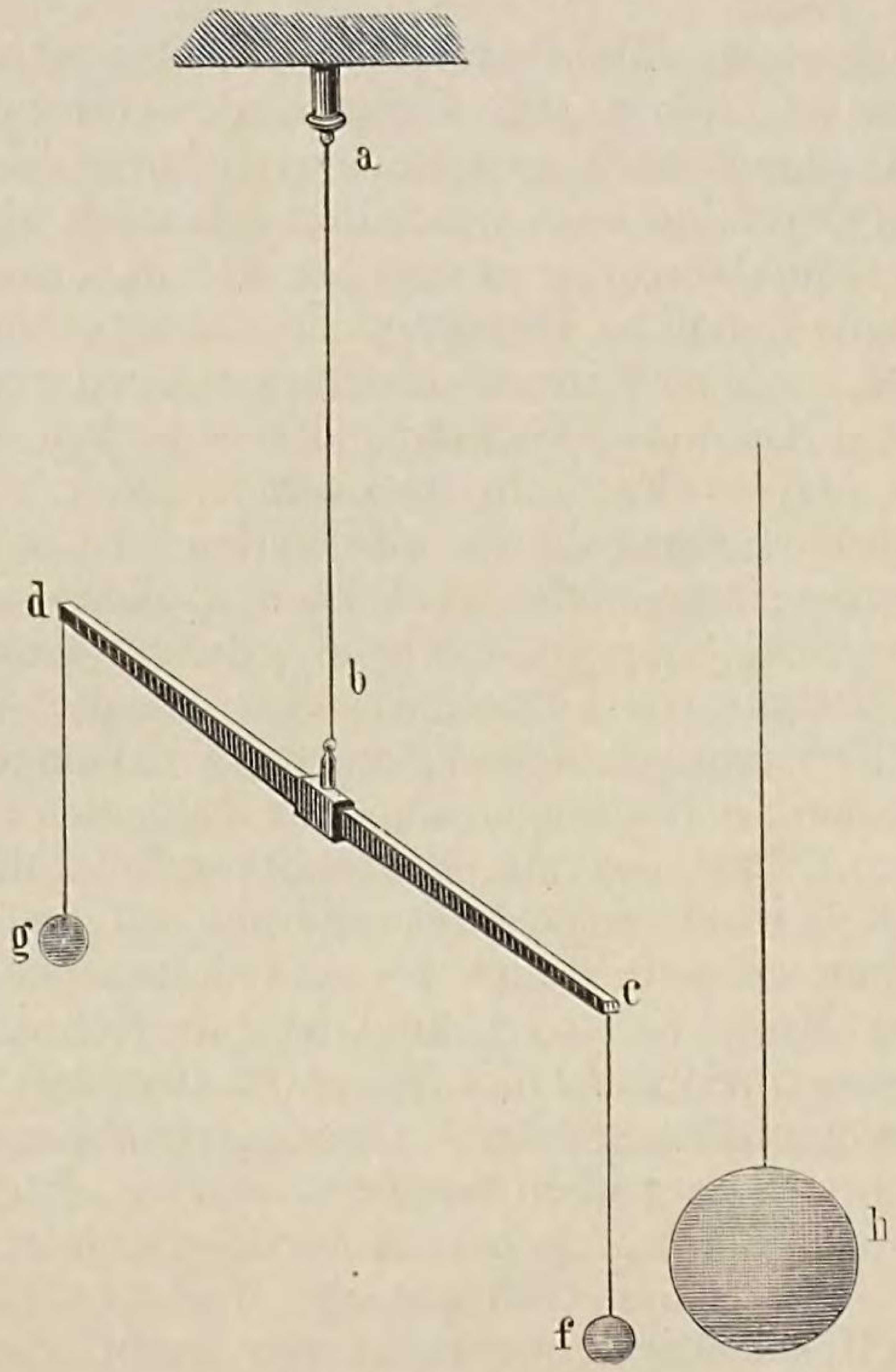
[1]) Die Beobachtung der Ausschläge erfolgt aus der Ferne durch ein mit der oben skizzierten *Poggendorff*schen Spiegelablesung versehenes Fernrohr, weil bei näherer Aufstellung des Beobachters dessen eigene Attraktion die Ergebnisse trüben könnte.

auf der Skale abgelesene Ablenkung der Drehwage, t endlich deren Schwingungszeit; alsdann ist

$$\Delta = \frac{3\,\mu\, m\, l_s\, p\, t^2}{4\,\pi\, r\, q^2\, B\, r'\,(m + m')}.$$

Cavendish fand auf diese Weise $\triangle = 5{,}32$, resp. $= 5{,}48$; später stellte *Baily* zahlreiche Versuche an, aus denen $\triangle = 5{,}66$ folgte;

Fig. 7.



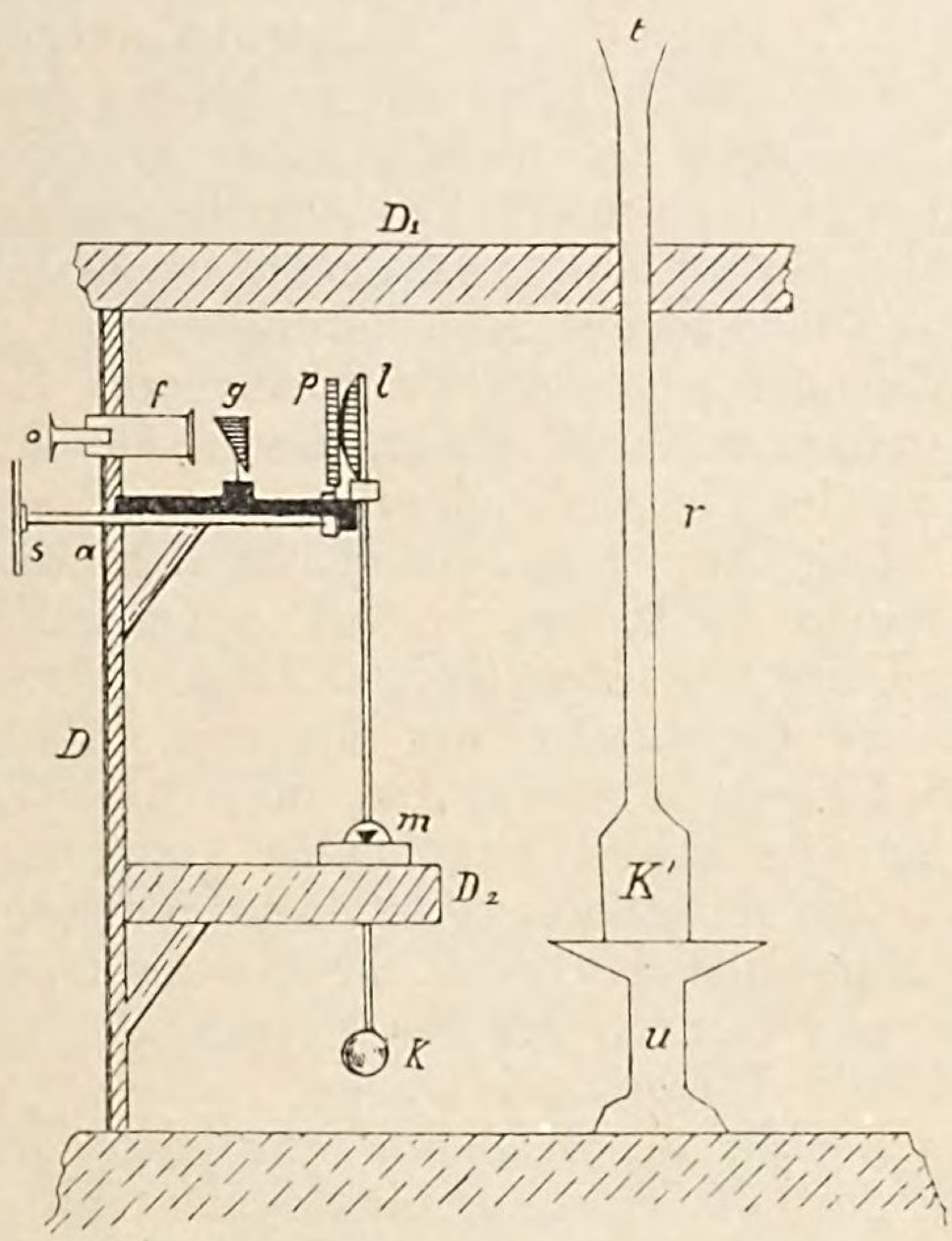
als die zuverlässigste Versuchsreihe aber gilt diejenige, welche man *Reich* in Freiberg verdankt, und welche $\triangle = 5{,}58$ ergab.

V. *Die Methode von Wilsing.* Ein Pendel wird seine Schwingungen anders vollziehen, als es der strengen Regel nach der Fall sein sollte, wenn sich in seiner Nähe ein Körper befindet, der die Pendelkugel attraktiv beeinflusst. Diese Thatsache liegt Beobachtungen zugrunde, welche auf dem astrogeophysikalischen Observatorium bei Potsdam von *Wilsing* angestellt wurden. Zwei homogene Zylinder aus Gusseisen, jeder 325 kg schwer, repräsentierten den störenden Körper; als Pendel diente ein Vertikalstab, der an seinen beiden Enden je eine Kugel trug und, da sein Schwerpunkt absichtlich nahe an die Schwingungsachse verlegt war, eine sehr hohe Empfindlichkeit besass. Die beiden Zylinder waren so angebracht, dass die

beiden Achsen eine einzige gerade Linie bildeten, und diese ging wieder, verlängert, durch die Mittelpunkte der beiden Pendelkugeln in deren Ruhezustande hindurch. Es fand sich, nachdem die mit grosser Akribie ausgeführten Versuche berechnet waren, $\triangle = 5{,}59 \pm 0{,}032$. Beachtenswert erscheint, dass *Richarz*, der sich doch selbst um die Verbesserung des Verfahrens von *Jolly* verdient gemacht hat, die *Wilsing*sche Zahl als diejenige bezeichnet, welcher zur Zeit das grösste Vertrauen entgegengebracht werden dürfte.

VI. *Die Methode von Láska.* Was geistreiche Kombination physikalischer Wahrheiten zu bestimmtem Zwecke anlangt, dürfte

Fig. 8.



vielleicht die jetzt zu beschreibende Methode den Preis unter allen verdienen, doch ist uns nicht bekannt, ob im Sinne derselben bereits experimentiert und welcher praktische Erfolg hierdurch errungen worden ist. Wir bemerken an einem festen hölzernen Träger D (*Fig. 8*) einen rechtwinkligen Fortsatz D_1 von grösserer und einen ebensolchen D_2 von geringerer Länge. D_1 ist durchbohrt durch ein vertikales Glasrohr t, dessen unteres Ende in ein Gefäss K' von einfacher geometrischer Gestalt [1]) ausläuft; dasselbe wird durch ein auf-

[1]) Gewöhnlich wird man diesen Hohlraum kugelförmig wählen, weil alsdann die Berechnung der Gravitationswirkungen sich am einfachsten gestaltet. Durch die *Wilsing*schen Versuche ist jedoch gezeigt, dass auch andere stereometrische Formen der Rechnung keine unüberwindlichen Hindernisse entgegenstellen.

und abschraubbares Tischchen *u* gehalten. D_2 dagegen bildet den Support für ein — dem *Wilsing*schen ähnliches — Doppelpendel, das auf einer, der oberen Begrenzungsfläche von D_2 aufruhenden Messerschneide *m* schwingt. Unten trägt dieses Pendel eine gewöhnliche Kugel *K*, welche im Ruhezustande dem Gefässe *K'* genau gegenüber eingestellt wird; an dem oberen Ende dagegen befindet sich eine Plankonvexlinse *l* aus Glas, deren sphärische Fläche eine vertikal gestellte Glasplatte *p* gerade berührt, ohne dass unter gewöhnlichen Verhältnissen der geringste gegenseitige Druck statthätte. Die Schraube *s* bei *a* erhält die beiden Gläser in ihrer normalen Stellung. So ist der Apparat justiert; nunmehr wird in das Rohr *t* Quecksilber so lange eingegossen, bis das Gefäss *K'* ganz damit ausgefüllt ist. Sofort wird durch die Anziehung dieses Quecksilbers die Kugel *K* gegen *K'* hin abgelenkt werden, allein allerdings wird der Ablenkungswinkel ein so kleiner sein, dass er mit gewöhnlichen Hilfsmitteln gar nicht sichtbar gemacht werden kann. Wohl aber kann er dies indirekt durch die entgegengesetzt gerichtete Bewegung der Linse *l*. Diese wird an die Glasplatte herangedrückt, und die Grösse der Annäherung spricht sich aus in den nunmehr sich zeigenden *Newtonschen Farbenringen*. Ein den Träger *D* rechtwinklig durchsetzendes Fernrohr, dessen Okular *o*, dessen Objektiv *f* ist, gestattet die Beobachtung dieser Ringe, doch ist es wünschenswert, dieselben, statt gefärbt, bloss abwechselnd schwarz und weiss erscheinen zu lassen, und zu dem Ende ist zwischen *f* und *p* noch das Prisma *g* eingeschaltet. Nach bekannten optischen Methoden folgt aus den Breiten der Ringe die Grösse des Weges, um welchen sich *l* gegen *p* bewegt hat, und dieser Weg ist, bei der Kleinheit der hier in Frage kommenden Ortsveränderungen, der Grösse des gesuchten Ablenkungswinkels proportional. Weiter aber kennt man die Masse der Kugel *K*, Masse und Gestalt des Quecksilberkörpers *K'* und damit sind der Berechnung der Masse resp. Dichte der Erde die Wege geebnet. —

Fasst man die für die Erddichte ermittelten Werte zusammen, so erkennt man, dass die Gesteine, aus denen sich die unserer unmittelbaren Untersuchung zugängliche Aussenseite der Erde zusammensetzt, durchweg ein weit geringeres spezifisches Gewicht besitzen, als es der Erde im ganzen zukommt. Diese Thatsache lässt nur eine einzige Erklärung zu: *Die Stoffe, aus denen der Erdkörper besteht, müssen von aussen nach innen zu — wenigstens bis zu einer gewissen Grenze — immer dichter und dichter werden.*

Verteilung der Dichte und Schwere im Erdinneren. Wie sich freilich die Dichte im Inneren unseres Planeten ändert, darüber vermögen wir fest begründete Aussagen nicht zu machen, vielmehr sind wir in diesem Punkte auf Hypothesen angewiesen, die aber mit dem Gesamtstande unseres Wissens in Einklang sich befinden müssen. *Legendre* und *Laplace* hatten sich mit dieser Frage bereits eingehend beschäftigt; die Ansicht des letztgenannten gipfelt darin, dass alle Punkte gleicher Dichte Ellipsoide erfüllen, die zur

äusseren Begrenzungsfläche konzentrisch sind, in ihrer Abplattung aber variieren. *E. Schmidt* hat diese Hypothese auf einen mathematischen Ausdruck gebracht. Vielen Anklang hat ferner das *Lipschitz*sche Dichtigkeitsgesetz gefunden: für ein internes Ellipsoid von der Dichte $\triangle_i$ ist die Abplattung α_i gegeben durch die Gleichung

$$\Delta_i = 9{,}45 - 6{,}95 \left(\frac{\alpha_i}{\alpha}\right)^{2{,}39},$$

worin α die Erdabplattung selbst bedeutet. Wieder anders fasst *G. H. Darwin* die Dichteverteilung im Inneren der Erde auf, indem er für beliebige Entfernungen vom Zentrum die Dichte als eine Funktion des Abstandes und als zugleich von der mittleren Dichte $\triangle$ selbst abhängig darstellt. Auch *Radau* und *Callandreau* haben sich bemüht, die Abplattung α_i einer gewissen unendlich dünnen Schicht von ellipsoidischer Anordnung direkt zu berechnen; da sich ergibt, dass α_i wesentlich nur von einem allerdings veränderlichen Zahlwerte bestimmt wird, der aber nur innerhalb der engsten Grenzen schwanken kann, so kommt *Callandreau* zu dem Schlusse, dass, wie man sich auch immer die Dichte innerhalb der Erde verteilt denken möge, doch stets für die äussere Hülle die Abplattung $\frac{1}{298}$ herauskomme, wofern nur überhaupt die Verteilung eine mathematisch-gesetzmässige sei. Auch *Stjeltjes* geht von dieser letzteren Voraussetzung aus, aber er lässt die Funktion, welche diese Regelmässigkeit zum Ausdrucke bringt, von vornherein vollkommen unbestimmt und sucht nur gewisse Eigenschaften derselben ausfindig zu machen, die Werte, welche sie annehmen kann, in gewisse feste Grenzen einzuschliessen. Für den Erdmittelpunkt speziell sind diese Grenzwerte so beschaffen, dass die von *Helmert* auf ganz anderem Wege für diesen ausgemittelte Dichte = 11,3 sich sehr gut zwischen die von *Stjeltjes* angegebenen Schranken einfügt. Jedenfalls kann man aus allen diesen Untersuchungen folgern, dass jähe Sprünge in der Anordnung der Erddichte nicht vorkommen: *Die Annahme besonderer Dichtigkeitszentren, durch welche die im wesentlichen nur von der Zentraldistanz abhängige Dichte namhafte Aenderungen ihres Wertes erlitte, erscheint durch nichts geboten, vielmehr scheinen im allgemeinen alle Punkte des Erdinneren, denen die gleiche Dichte zukommt, auf einer Fläche vom Ellipsoidcharakter zu liegen.* Wir werden sehr bald sehen, dass diese Erkenntnis für unsere Auffassung des Wesens der Erdgestalt von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Eine analoge, rechnerisch zu formulierende Gesetzmässigkeit scheint sich auch für die Schwere in den inneren Partien des Erdballes nachweisen zu lassen. Fürs erste könnte man, da ja die Schwerkraft dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, daran denken, dass Schwere und Druck mit der Annäherung an den Punkt, in welchem wir uns die ganze Masse vereinigt denken können, selbst immer mehr zunehmen, allein diesem Schlusse stellt sich unverzüglich die Ueberlegung entgegen, dass ja eine immer grössere Kugelschicht sich bei weiterem Eindringen in die Tiefe

selbst neutralisiert. A priori also kann man schon schliessen: *Es muss eine gewisse Entfernung vom Erdmittelpunkte geben, für welche Schwere und Druck ein Maximum darstellen.*

Helmert und *Weihrauch* haben diese Entfernung zu berechnen sich bestrebt und sind zu wenig von einander abweichenden Resultaten gelangt. Ein Punkt, der der oben normierten Maximalfläche angehört, liegt der Erdoberfläche näher, als dem Erdzentrum; seine Entfernung von ersterer ist gleich 0,18 r und seine Entfernung von letzterem ist gleich 0,82 r. An dieser Stelle ist die Intensität der Schwerkraft 1,04 bis 1,05 mal so gross als wir sie an der Aussenseite der Erde beobachten, und von da ab nimmt sie, wenn schon sehr langsam, mit fortschreitender Tiefe ab.

Berechnung des Geoides. Nach diesen Vorbereitungen erst sind wir in stand gesetzt, die Frage nach der wahren Erdgestalt da wieder aufzunehmen, wo wir diese oben gelassen hatten. Die früher gehegte Ueberzeugung, dass die äussere Begrenzungsfläche des Erdkörpers, *wie sie durch eine Wasserfläche im Zustande absoluter Ruhe dargestellt wird*, eine nach einem bestimmten, geometrischen Gesetze gebildete, durch eine reguläre Gleichung zwischen drei Koordinaten ausdrückbare sei, musste in uns stark erschüttert werden durch die Thatsache, dass für die Lotrichtung, die wir uns doch zu einer benachbarten Wasserfläche unter allen Umständen normal vorzustellen haben, keinerlei Gesetzmässigkeit nachzuweisen ist. Jene These, die wir oben nach *Ph. Fischer* aufstellten (S. 28), erscheint uns nunmehr also auch in einem völlig neuen Lichte, und wir können derselben eine präzisere Form erteilen, indem wir der theoretischen Mechanik den Begriff der *Niveau-* oder *Gleichgewichtsfläche* entlehnen. Eine solche Fläche steht auf sämtlichen *thatsächlichen Lotrichtungen* senkrecht. Wir können also jetzt sagen:

Als Geoid bezeichnen wir eine jede der unzählig vielen Niveauflächen unserer Erdrinde, also jede Fläche, welche in jedem ihrer Punkte auf der zugehörigen wahren, d. h. durch Schwungkraft und Lokalattraktion beeinflussten Schwererichtung lotrecht steht.

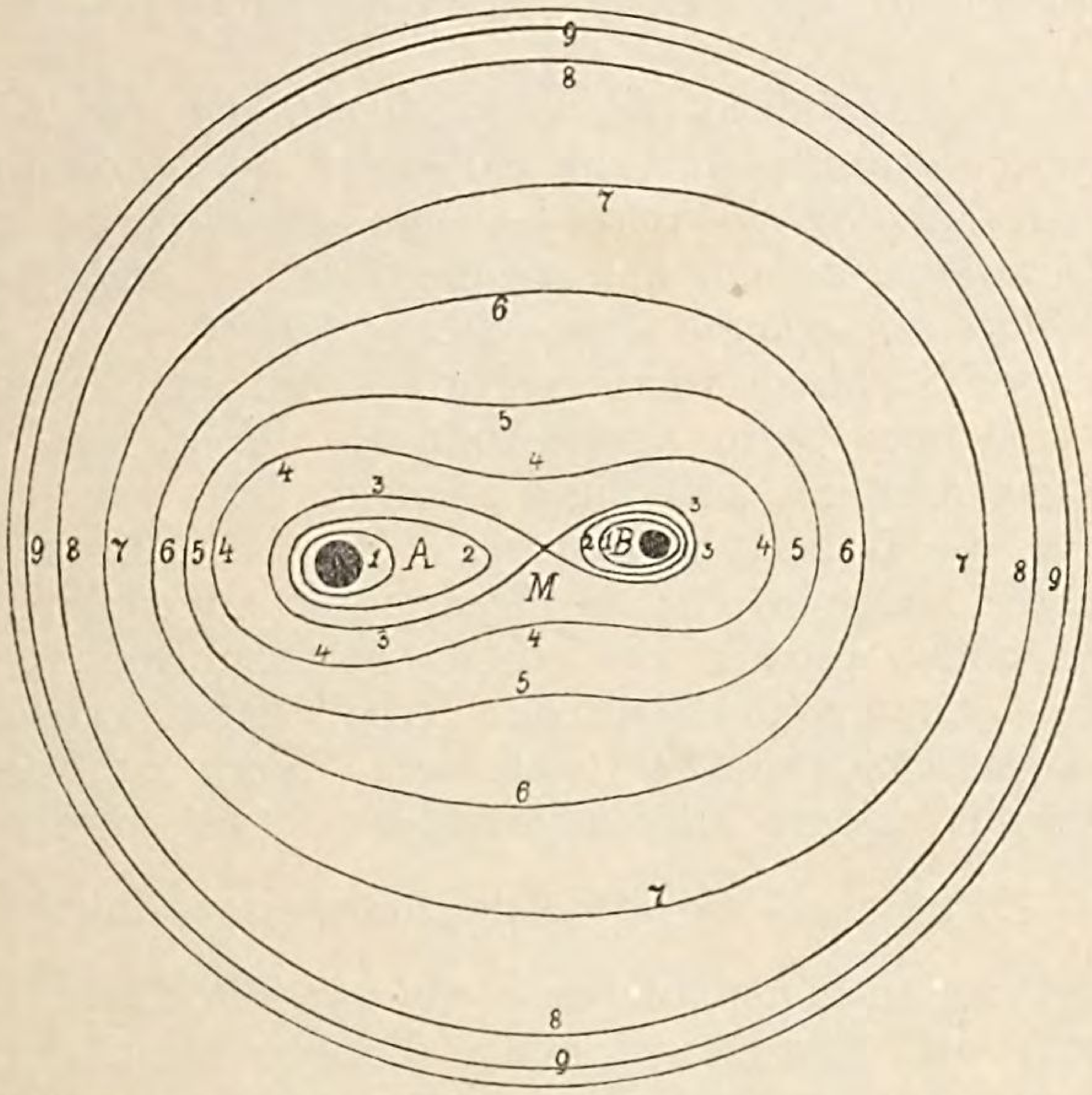
Nicht sämtliche Meeresspiegel gehören ein und derselben Niveaufläche an; es ist vielmehr durch das *Nivellement* der Nachweis erbracht worden, dass das *Mittelwasser* [1]) der einzelnen Ozeane, Rand- und Mittelmeere Verschiedenheiten aufweist, die allerdings niemals sehr beträchtliche Werte annehmen. Wenn man also, um einen festen Anfangspunkt der Zählung zu haben, die Meereshöhen von einem ganz bestimmten Niveau, z. B. von dem *Nullpunkte des Pegels in Swinemünde* aus, rechnet, so hat man damit keine absolute, sondern lediglich eine relative Höhenbestimmung gemacht, und es ist dieselbe für einen Niederländer z. B., der sich an die *Amsterdamer*

[1]) Als Mittelwasser denkt man sich im allgemeinen einen Wasserstand, welcher zwischen dem höchsten Niveau bei Flut und dem tiefsten Niveau bei Ebbe gerade die Mitte hält. Die steten Trübungen des Gleichgewichtes, welche Wind und Wellen hervorrufen, machen die Bestimmung eines solchen Mittelwassers zu einer überaus schwierigen Aufgabe.

Normalnull hält, erst dann vollkommen verständlich, wenn zuvor der Niveauunterschied der mittleren Wasserstände von Amsterdam und Swinemünde genau festgestellt ist. Jeder einzelne Staat hat also sozusagen sein besonderes Geoid, allein das hat in der Praxis nichts zu sagen, da man ja die Abstände dieser einzelnen Gleichgewichtsflächen von einander auszumitteln in der Lage ist.

Ehe wir den Eigenschaften der Geoide weiter nachspüren, wollen wir uns noch mit einer anderweiten Definition derselben bekannt machen, welche allerdings nur unter einer bestimmten Voraussetzung zulässig ist. Um aber zu ihr zu gelangen, müssen wir uns zuvor von der Anordnung der Niveauflächen im Inneren der Erde ein Bild machen. Diese Anordnung hängt ab von der Verteilung

Fig. 9.



der Dichte im Erdinneren. In *Fig. 9* denken wir uns zwei lokale Dichtigkeitszentren im Inneren der Erde vorhanden; *A* ist das massenkräftigere, *B* das schwächere. Wir brauchen bloss einen den Mittelpunkt *M* in sich enthaltenden Durchschnitt der Erdkugel ins Auge zu fassen, denn wenn wir für diesen die *Niveaulinien* verzeichnen, so bedarf es bloss einer Umdrehung um die Linie *AB* als Achse, um auch die zugehörigen Niveauflächen zu erzeugen. Dass *M* auf der Strecke *AB* selbst gelegen sei, ist natürlich keine Notwendigkeit, es ward vielmehr diese Annahme nur um deswillen zugelassen, um symmetrische Figuren zu erhalten. Die Rechnung lehrt nun, dass die Niveaulinien in unserem Falle sogenannte *Cassinische Kurven* sind, und deren gestaltliche Verhältnisse gewähren, wie man weiss, ein sehr wechselndes Bild. Die zusammengehörigen Niveau-

linien 1 und 2 sind jeweils in zwei getrennte, geschlossene Eikurven zerfallen, Niveaulinie 3 hat den *Lemniskatentypus,* d. h. es ist eine Schleife vorhanden, und der Doppelpunkt fällt bei unserer Annahme in das Erdzentrum M; die Niveaulinien 4, 5, 6, 7, 8, 9 endlich sind geschlossene Kurven ohne mehrfachen Punkt, die aber doch erst in grösserer Entfernung von A und B den Ellipsentypus annehmen. Selbst dann also, wenn in bedeutender Tiefe die Dichteverteilung eine so diskontinuierliche sein sollte, wie wir es hier voraussetzten, selbst dann wird es eine gewisse äussere Schale geben, innerhalb deren eine mehr nach aussen gelegene Gleichgewichtsfläche die zunächst nach innen auf sie folgenden vollständig umschliesst. Die weiter oben der Diskussion unterstellten Hypothesen über die Erddichte stehen ausnahmslos auf der Basis, dass die Aufeinanderfolge der Niveauflächen nicht bloss bezirksweise, sondern durch die ganze Erdmasse hindurch, die soeben gekennzeichnete sei, mit anderen Worten:

Es ist wahrscheinlich, dass die Anordnung der Niveauflächen des Erdinneren durchaus eine schalenförmige ist; daraus folgt, dass der Begriff des Erdmittelpunktes — eines Punktes, zu welchem die innerste Niveaufläche zusammengeschrumpft ist — auch für den vom Geoide umschlossenen Körper nach wie vor besteht.

Bei dieser Sachlage vermögen wir aber dem Wesen des Geoides selbst eine neue Seite abzugewinnen. Wenn zwei Massen m_1 und m_2 die gegenseitige Entfernung ρ haben, und wenn $m_1 > m_2$ ist, so kann man die Arbeit berechnen, welche die Masse m_1 leisten musste, um die Masse m_2 bis zu dieser ihrer augenblicklichen Stellung aus unendlich grosser Entfernung heranzubringen; das hierzu erforderliche Quantum mechanischer Arbeit nennt man das *von m_1 gegen m_2 ausgeübte Potential,* und sein Wert ist, das *Newton*sche Gesetz mit seinem Attraktionsfaktor k vorausgesetzt, gleich $-k\frac{m_1 m_2}{\rho}$. Es ist nach dieser Definition weiter einleuchtend, dass eine *Niveaufläche* auch als *Ortsfläche gleichen Potentiales* [1]) aufgefasst werden kann, und dass allenthalben dieselbe Arbeitsleistung notwendig ist, um eine gewisse Masse von irgend einem Punkte einer Niveaufläche zu dem nächst gelegenen Punkte einer benachbarten Niveaufläche zu bringen. Stellt man sich einen Transport dieser letzteren Art beliebig oft wiederholt vor, so steht man vor der folgenden Thatsache:

Denkt man sich eine bestimmte Masse vom Erdzentrum aus längs irgend eines der von ihm ausgehenden Radien bis zu einer bestimmten Niveaufläche der Erde herangebracht, so hat für diesen Hebungsakt, einerlei, welches die Länge des bezüglichen Radius war, das gleiche Mass von mechanischer Arbeit aufgewendet werden müssen [2]).

[1]) Wenn vom Erdpotentiale die Rede ist, hat man stets zu beachten, dass vom kombinierten Potentiale aus Schwer- und Schwungkraft gesprochen werden muss.

[2]) Wir würden diese leicht verständliche Begriffsbestimmung an die Spitze

Einige bemerkenswerte Eigenschaften der Niveauflächen mögen hier noch zusammengestellt werden, ohne dass jedoch der an dieser Stelle zu weit führende Beweis für die betreffenden Sätze ebenfalls eine Stelle finden könnte. Niveauflächen können Parallelflächen sein, wie z. B. konzentrische Kugelflächen, sie brauchen dies aber nicht zu sein, sondern wenn wir uns zwei benachbarte Niveauflächen konstruiert denken, so sind im allgemeinen die kürzesten Entfernungen, welche zwischen denselben existieren, keineswegs alle von gleicher Länge. Zwei Niveauflächen derselben Art können sich nicht schneiden oder berühren [1]), da durch einen bestimmten Punkt des Raumes stets nur eine einzige solche Fläche hindurchgeht. Ferner muss jede Fläche dieser Art stetig und lückenlos, frei von Ecken und Kanten sein. Demzufolge ist sie auch entweder unendlich ausgedehnt oder geschlossen, und wenn wir uns hinsichtlich der Niveaufläche der Erde für letztere Alternative entscheiden, so geschieht dies deshalb, weil uns (s. o.) ausgedehnte Erfahrungen darüber belehrt haben, dass jedenfalls der Erdkörper im grossen und ganzen Kugelform besitzt.

Das Lot ist nur so lange eine grade Linie, als den Niveauflächen der Charakter von Parallelflächen zukommt. Da dies aber, wie wir wissen, nur ein Ausnahmsfall ist, so müssen wir auch mit dem, was wir bisher Lot nannten, eine andere Auffassung verbinden, und zwar in nachstehendem Sinne:

Konstruieren wir zu einem Systeme von Gleichgewichtsflächen jenes System von Kurven, deren jede mit jeder einzelnen Fläche rechte Winkel einschliesst, so sind diese Kurven die eigentlichen Lotlinien, und das unseren Augen zugängliche Lot ist nur die gradlinige Tangente einer solchen gebogenen Linie.

Eine genaue Darstellung der Hilfsmittel, deren man sich zur Bestimmung des gegenseitigen Verhaltens von Geoid und Referenzellipsoid (s. o.) bedient, würde uns zu weit von unserem eigentlichen Ziele abführen, und wir beschränken uns deshalb auf einige Andeutungen. Man entwickelt das Potential der Erde für einen ausserhalb gelegenen Massenpunkt in eine konvergente trigonometrische Reihe und berücksichtigt von dieser nur eine bestimmte Anzahl von Gliedern. Je nachdem der auf diese Weise endlich gewordene Ausdruck W_1, W_2, . . W_n einer Konstanten gleich gesetzt wird, entsprechen die Gleichungen $W_1 = Konst.$, $W_2 = Konst.$. . . $W_n = Konst.$ geschlossenen ellipsoidischen Flächen, welche die höhere Geodäsie *Niveausphäroide der ersten, zweiten . . . n ten Ordnung* nennt. Jedes solche Niveausphäroid besitzt einen mit dem der Erde der Lage nach übereinstimmenden Aequator, jedes ist eine auch hinsichtlich der Umdrehungsachse mit dem Erdellipsoide übereinstimmende Rotations-

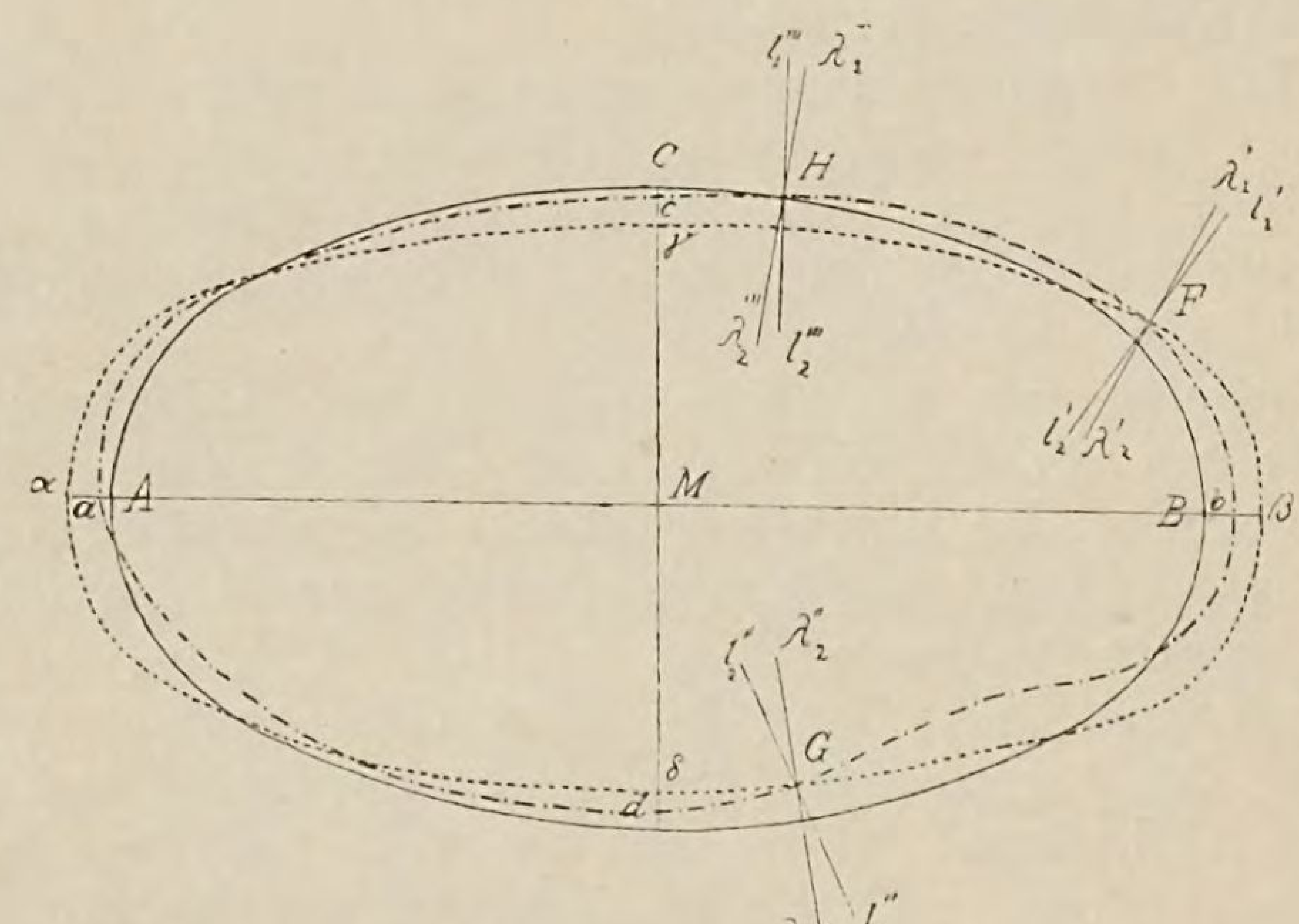
gestellt haben, wenn sie eine vollständig allgemeine wäre. Sie setzt jedoch eben eine ganz bestimmte Lagerung der internen Niveauflächen voraus.

[1]) Die Niveaufläche 3 unserer obigen Figur spricht nicht etwa gegen diese Wahrheit, denn dort hat man es ja nur mit einer sich selbst durchsetzenden Fläche, nicht jedoch mit zwei verschiedenen Individuen eines Systemes zu thun.

fläche, jedem endlich kommt eine gewisse *Abplattung* zu, die nach einem Analogon des *Clairaut*schen Theoremes (S. 25) ermittelt werden kann. Der Unterschied zwischen dem Geoide und einem solchen Niveausphäroide wird mit grösser werdendem Index n immer kleiner und kleiner, und es ist damit erhärtet, dass in der That das Geoid als eine einem Rotationsellipsoide sehr ähnliche Fläche und als *nach aussen durchweg konvex* betrachtet werden darf.

Grundsätzlich wäre ein steter Wechsel von konvex und konkav gekrümmten Flächentheilen beim Geoide wohl denkbar, *allein ein solcher Wechsel müsste sich durch ungewöhnlich starke Lotstörungen verraten,* durch weit stärkere, als man sie bisher irgendwo auf der Erde hat nachweisen können. Dies erläutert unsere die Wechselbeziehungen von Ellipsoid, Niveausphäroid und Geoid zum Ausdrucke bringende *Fig. 10.* M ist der gemeinsame Mittelpunkt für alle drei Flächen, während AB und CD die beiden Achsen des Ellipsoides,

Fig. 10.



$\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ diejenigen des Niveausphäroides, ab und cd diejenigen des Geoides sind. H, F, G sind Punkte der letztgenannten Fläche, und zwar soll der erstere da liegen, wo sich Geoid und Referenzellipsoid durchschneiden, während in F und G das Geoid mit dem Niveausphäroide zum Durchschnitte kommt. Resp. in F, G, H denken wir uns für das Geoid die Lote $l_1'l_2'$, $l_1''l_2''$, $l_1'''l_2'''$ gezogen, während $\lambda_1'\lambda_2'$, $\lambda_1''\lambda_2''$, $\lambda_1'''\lambda_2'''$ die Lote für die anderen Flächen vorstellen. Den Punkt G haben wir so gewählt, dass in ihm die in die Zeichnungsebene fallende Meridiankurve des Geoides einen *Wendepunkt* aufweist, und da sehen wir denn aus der Figur ohne weiteres, dass $\sphericalangle l_1' F \lambda_1' = \sphericalangle l_2' F \lambda_2'$ sowie $\sphericalangle l_1''' H \lambda_1''' = \sphericalangle l_2''' H \lambda_2'''$ jeweils nur klein, dagegen $\sphericalangle l_1'' G \lambda_1'' = \sphericalangle l_2'' G \lambda_2''$ bereits von ganz ansehnlicher Grösse ist. *Erdstellen also, welche durch eine auffallend starke Lotabweichung gekennzeichnet sind, kennzeichnen zugleich eine grössere Verschiedenheit im Verlaufe der Geoidfläche gegenüber Ellipsoid und Niveausphäroid.*

Numerische Bestimmung der geoidischen Abweichungen. Aus unseren bisherigen Betrachtungen erhellt, dass jede über, an oder unter der Erde befindliche Masse eine gewisse *Deformation des Geoides* bewirkt, und es fragt sich, ob der Betrag dieser Deformation ein der Berechnung zugänglicher ist. In der That ist dies möglich auf grund einer zuerst von *Stokes* und nachher selbständig von *Dahlander* gefundenen Formel, die nach *H. Hergesell* auch ganz elementar bewiesen werden kann. Jede Niveaufläche ist, wie wir erfuhren, dadurch gekennzeichnet, dass für ihre sämtlichen Punkte der Potentialwert der gleiche ist. Bringen wir also jetzt auf eine solche Fläche eine Masse m, von der wir, den wirklichen Verhältnissen entsprechend, voraussetzen, dass sie im Verhältnis zur Erdmasse M nur sehr gering sei, so wird durch diese Veränderung des bisherigen Zustandes die Gleichgewichtsfläche eine andere als sie vordem war, und wir suchen den grössten Abstand zwischen der neuen und der alten Geoidfläche zu ermitteln. Ursprünglich war für erstere $W = Konst.$ die Potentialgleichung; wenn man also von dieser Fläche aus einen Massenpunkt 1 bis zur Unendlichkeit hinaus verschieben würde, hätte man eine Arbeit $= W$ zu leisten. Dieselbe setzt sich zusammen aus zwei Teilen A_M und A_m, deren erster der Masse M, deren zweiter der in die Richtung der Kraftlinie fallenden Komponente der Masse m entspricht. Ohne merklichen Fehler können wir diese Komponente als mit der eigentlichen Kraft selbst zusammenfallend annehmen, und wenn g (s. o.) die Schwerkraftskonstante, h den Betrag der Hebung vorstellt, so ist mit grosser Annäherung die Arbeit $A_m = gh$ zu setzen. Man hat somit $gh = W'$, wenn W' das Potential der kleineren Masse m bedeutet, und damit ist das Theorem von *Stokes* bewiesen:

Approximativ ist die grösste Distanz der ursprünglichen und der durch den Zutritt einer gewissen Masse neu gebildeten Gleichgewichtsfläche dadurch gegeben, dass man in das Potential dieser Masse mit der Beschleunigung der Schwere dividiert.

Eine sehr erhebliche Vereinfachung des Berechnungsaktes hat nun ferner noch *Helmert* durch seine *Methode der Kondensation* herbeigeführt. Dieser zufolge studiert man die Gestaltsveränderungen nicht für jede Niveaufläche einzeln, sondern man verlegt sämtliche störende Massen in eine bestimmte Kugelfläche, *kondensiert* sie auf dieser und wendet nunmehr erst die bekannte Regel an. Es versteht sich von selber, dass nunmehr der Effekt ein etwas anderer ist, als wenn der die Hebung bewirkende Körper an seinem ursprünglichen Orte verharrt wäre, allein man ist auch in der Lage, die Grösse der von der Kondensation abhängigen Aenderung abzuschätzen und somit doch das eigentlich angestrebte Ziel innerhalb enger Grenzen zu erreichen.

Helmert selbst hat in diesem Sinne jene Undulationen der Geoidfläche bestimmt und kartographisch dargestellt, welche den fünf grossen Festländermassiven der Erde zuzuschreiben sind. Auf geologische Fragen hatte schon vorher *Zöppritz* die *Stokes*sche Formel

angewendet. Wenn sich Sedimente ablagern, welche die attrahierende Kraft der am Ablagerungsorte schon befindlichen Gesteinsmassen verstärken, so muss in der Nähe dieses Ortes eine Hebung und umgekehrt muss da, wo das betreffende Material durch die Gewalt des strömenden Wassers weggeführt worden ist, eine Senkung der Niveauflächen stattfinden. Die Rechnung zeigt, dass am Rande der Kontinente die Hebung eine relativ starke ist, dass sich aber am Ufer isolierter Inseln die Niveauschwankungen am kräftigsten aussprechen müssen. Wenn sich ferner, wie es während der im Abschnitt XV zu besprechenden Eiszeit der Fall war, gewaltige Mengen gefrorenen Wassers dem Festlande auflagern, so müssen auch diese die Oberfläche des benachbarten Meeres emporheben — um wieviel, das lässt sich aus den Untersuchungen von *Hergesell* und *v. Drygalski* mit ziemlicher Sicherheit abnehmen. Im allgemeinen folgt jedoch aus allen diesen Arbeiten übereinstimmend, dass, während man früher die geoidischen Unregelmässigkeiten ganz ignorieren zu dürfen glaubte, eine Zeitlang dieselben auch wieder für viel bedeutender gehalten wurden, als sie wirklich sind: *nur unter ganz besonderen Umständen werden sich infolge irgend welcher geologischen Umänderungen Verbiegungen des Geoides von irgendwie namhaftem Betrage ergeben können* [1]).

III. Erdtemperatur und Erdinneres.

Insolationswärme und Eigenwärme der Erde. Wenn man von der Wärme der Erde spricht, so hat man zweierlei zu unterscheiden. Eine gewisse, massive, äussere Kugelschale wird direkt von den Strahlen der Sonne erwärmt, welche allerdings nicht sehr weit in das Innere der Erdkruste einzudringen vermögen. Schon in geringer Tiefe hört der theoretische Gegensatz zwischen Tag und Nacht auf, sich fühlbar zu machen; derjenige zwischen den einzelnen Jahreszeiten dringt natürlich in grössere Tiefen ein, und zwar um so mehr, je schärfer sich derselbe an der Erdoberfläche selbst ausprägt. Es wird also eine *neutrale Fläche* geben, jenseits deren die solare Einwirkung vollständig machtlos ist; diese Fläche verläuft nicht parallel zur Aussenseite des Erdballes, sondern sie hat von dieser unter den Tropen eine geringere Entfernung, als in der gemässigten Zone. Wenn *Boussingault* diese Entfernung für

[1]) Mit anderen als den von *Helmert* angewendeten Mitteln hat unlängst *W. Hergesell* die gestaltlichen Verhältnisse des Geoides studiert. Er findet, dass höchst wahrscheinlich 400 m die Maximaldistanz zwischen homologen Punkten des Geoides und der Referenzfläche sei. Absolut genaue Zahlen lassen sich aus begreiflichen Gründen nicht geben.

die heisse Zone nur auf ½ m taxierte, so blieb, wie *Wild* nachher darthat, diese Angabe allerdings noch sehr hinter der Wahrheit zurück, und es dürfte die *Boussingault*sche Zahl wohl mit 12 multizipliert werden. Zu unseren Breiten dagegen liegt die neutrale Temperaturfläche sogar mindestens 20 m unter dem Erdboden; im Keller der Pariser Sternwarte ist das dort angebrachte Thermometer seit mehr denn einem Jahrhundert auf einem Stande geblieben, der von 11,82° nur um ± 0,02° abweicht. Es leuchtet ein, dass in polaren Gebieten, deren Lufttemperatur stetig um den Nullpunkt herum schwankt, schon in geringer Tiefe eine niemals auftauende Schicht von erheblicher Mächtigkeit beginnt; die *Grenze des ewigen Bodeneises* fällt auf der Nordhalbkugel wenigstens nicht mit einem Parallelkreise der Erde zusammen, sondern weist einen ziemlich unregelmässigen Verlauf auf [1]).

Dringt man hingegen über die neutrale Fläche hinaus in das Innere der Erde vor, so konstatiert man ein *stetiges Anwachsen der Temperatur*, auf welchem Erdradius sich auch das Vordringen bethätigen möge. Leider sind die Tiefen, bis zu welchen dem Menschen bisher zu gelangen vergönnt war, keine sehr beträchtlichen, ja im Vergleiche mit dem Halbmesser der Erde erscheinen sie sogar verschwindend. Das bis vor kurzem den Vorrang grösster Tiefe behauptende Bohrloch von *Sperenberg* (südlich von Berlin) wurde zunächst durch dasjenige von *Lieth* (in Holstein) mit 1330 *m* in Schatten gestellt, und bei *Schladebach* (zwischen Leipzig und Merseburg) hat man eine Tiefe von fast 1750 *m* erreicht [2]). Die artesischen Brunnen und Bergwerkschachte haben durchweg sogar noch eine bei weitem geringere radiale Ausdehnung.

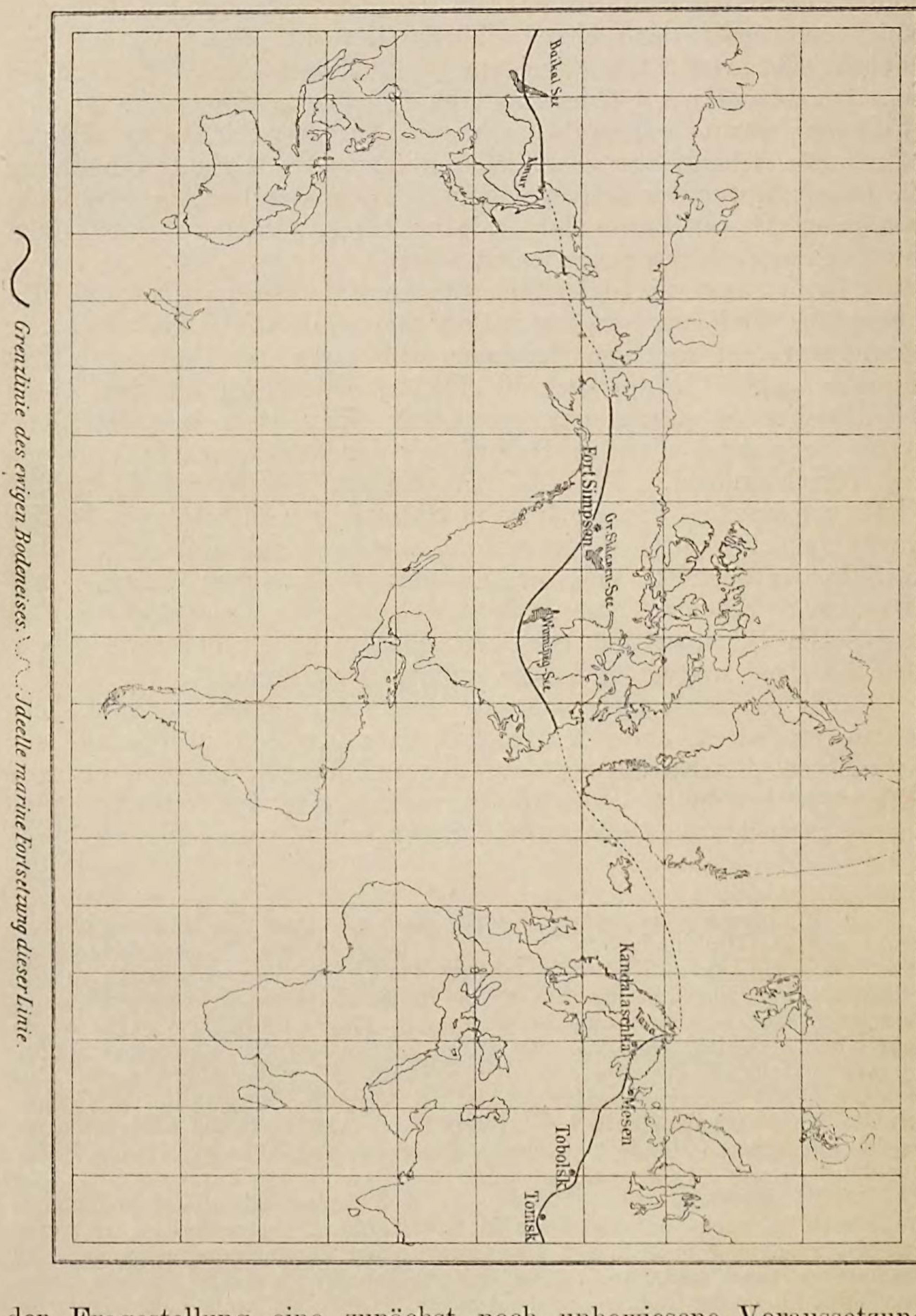
Indessen muss man sich, wie die Dinge liegen, an diese Tiefbohrungen halten, und der Umstand, dass dieselben ausnahmslos ein Anwachsen der Erdwärme, von der indifferenten Fläche aus gerechnet, wahrnehmen lassen, fällt immerhin sehr ins Gewicht. Man hat es versucht, die *geothermische Tiefenstufe* für verschiedene Oert-

[1]) In Europa gehören zur Kalotte des Bodeneises das nördlichste Norwegen und die Halbinsel Kola, in Asien ein sehr grosser Teil von Sibirien, so dass jedoch die beiden Städte Tobolsk und Tomsk gerade noch ausserhalb derselben fallen, in Nordamerika Alaska, das Hudsonsbaigebiet zum überwiegenden Teile und Labrador, sowie nicht minder das gesamte Grönland. Von der Mächtigkeit der Eisschicht legt das vollgültigste Zeugnis ab der bekannte Schergin-brunnen in Jakutsk, der, wie sich *v. Middendorff* selbst überzeugte, bereits eine Tiefe von 116,5 m erreicht hatte, ohne dass doch die Temperatur am Grunde sich nur bis 0° erhoben hätte. — In *Fig. 11* ist nach *Fritz* die Linie gezogen, welche auf unserer Hemisphäre den auftauenden vom stets gefrorenen Boden scheidet.

[2]) Da das technische Verfahren der Tiefbohrung neuerdings bedeutende Fortschritte gemacht hat, so erscheint die Hoffnung gerechtfertigt, es werde das bisher angehäufte Material an unterirdischen Thermometermessungen sich von nun an rasch vermehren. Die wesentlichste Verbesserung besteht darin, dass die Füllung des Bohrloches nicht mehr, wie früher, vollständig zerrieben, als Grus und Bohrmehl, an die Oberfläche gelangt, sondern dass kompakte Steinzylinder, welche eine glatte Wand zurücklassen, in die Höhe gehoben werden.

lichkeiten zu bestimmen, d. h. man stellte fest, *um wie viele Meter man in radialer Richtung fortschreiten muss, um das Thermometer um einen Grad steigen zu sehen.* Man sieht, dass bei dieser Art

Fig. 11.



der Fragestellung eine zunächst noch unbewiesene Voraussetzung gemacht worden ist, die nämlich, dass das Steigen der Temperatur in *arithmetischer Reihe* erfolge. Dies ist nun jedenfalls nur bedingt

und angenähert richtig, aber andererseits lässt sich nicht leugnen, dass bei jedem anderen, versuchsweise der Rechnung unterlegten Gesetze gewisse logische Widersprüche hervortreten [1]), und dass auch kein anderes die Beobachtungen genauer darstellt, als es dies die arithmetische Reihe thut. Letzteres ist von *Henrich* rechnerisch und graphisch in durchaus überzeugender Weise nachgewiesen worden. Allerdings hat, wie dies bereits vor langer Zeit *Cordier* erkannte, die subterrane Thermometrie mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, da insbesondere das Wärmeleitungsvermögen der einzelnen Gesteinsarten ein sehr verschiedenes ist, da ferner überall Wasseradern den Fels durchsetzen, welche örtliche Erhöhungen oder Erniedrigungen der Temperatur bewirken, und da auch die Gesteinsmetamorphose — Zersetzung, Kaolinisierung — wie dies *Stapff* in der berühmten Comstockgrube (Amerika) bemerkte, die Wärmeverteilung zu einer ungleichförmigen macht. Trotzdem konnte man mittelst der Methode der kleinsten Quadrate Ergebnisse erhalten, welche einiges Vertrauen verdienen. Nachstehende kleine Tabelle orientiert nach *Huyssen* über die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe, wie sie in einigen der bekannteren Bohrlöcher gefunden ward:

Ort	Erreichte Tiefe	Mittlere geothermische Tiefenstufe in m
Sennewitz bei Halle a. S.	1111,45 m	36,66
Sperenberg	1273,01 „	32,00
Linth	1338,00 „	35,07
Schladebach	1748,40 „	36,87 für das Rohr im ganzen; 39,55 für die grössere Tiefe.

Die Maximaltemperatur, welche im Schladebacher Bohrloche, und zwar in einer Entfernung von 1716 m vom Erdboden gemessen worden ist, beträgt 56,6° C.

Rückschluss auf das Innere der Erde. Da die Wärme alle Körper ausdehnt, in einen Zustand überzuführen sucht, bei dem sich der Zusammenhang der Elementarbestandteile mehr und mehr lockert, so liegt die Vermutung nahe genug, dass in grösserer Tiefe sämtliche Stoffe nicht mehr im festen, sondern im flüssigen Aggregatzustande, d. h. geschmolzen, sich vorfinden müssen. Inwieweit der (S. 44) zunächst noch steigende Druck dieser Auflösung entgegenwirkt, das wird später noch Gegenstand einer besonderen Betrachtung sein müssen, doch ist von vornherein klar, dass zwei gewich-

[1]) Wie nämlich die Gleichung $t = f(\tau)$, wo t die Temperatur in der Tiefe τ darstellt, beschaffen sein möge, stets lässt sich, wenn nicht einfach $t = a + b\tau$ ist, unter a und b konstante Grössen verstanden, für eine gewisse Tiefe τ eine Maximaltemperatur ausrechnen, die durch keinerlei physikalisches Motiv gerechtfertigt ist. So hatte denn auch *Brauns* für 2250 m Tiefe ein solches Maximum postuliert, allein *Henrich* zeigte, dass die von ihm verwendete Berechnungsformel eine durchaus unzulässige war.

tige Gründe dafür sprechen, dass schon in nicht allzu grosser Entfernung von der Aussenseite des Erdballes in diesem eine wirkliche Schmelzhitze herrschen müsse. Zuerst nämlich die *vulkanischen Erscheinungen*, mit denen wir uns in Abschnitt VII des näheren zu beschäftigen haben werden, und welche, wie jedermann weiss, den augenfälligen Beweis für die Wahrheit obiger Behauptung liefern. Zweitens aber stimmt derselbe überein mit dem Bilde, welches wir gemäss der *Kant-Laplace*schen Hypothese uns von der inneren Beschaffenheit der Himmelskörper entworfen haben. Scheinbar allerdings steht der Vorstellung, dass sich rund um die noch flüssige Hauptmasse eines Weltkörpers eine feste Erstarrungskruste gebildet habe, eine Schwierigkeit entgegen, denn auf den ersten Blick scheint es notwendig, dass die erstarrten Massen in der sie umgebenden Flüssigkeit, ihrer grösseren Schwere folgend, untersinken müssen. *Der Erstarrungsprozess würde hiernach vom Zentrum, nicht aber von der Oberfläche seinen Ausgang nehmen.*

In diesem Falle trügt jedoch die plausibel erscheinende Annahme, mit welcher dieser Satz steht und fällt. Was vor zweihundert Jahren bereits *Réaumur* im Einzelfalle erkannt hatte, das ist neuerdings durch das *Experiment* in grossem Umfange als wahr nachgewiesen worden. *Beim Akte des Erstarrens tritt für die sehr grosse Mehrzahl der bisher untersuchten* — elementaren und zusammengesetzten — *Stoffe eine Vergrösserung des Volumens ein.* Ein und derselbe Körper ist demnach im festen Aggregatzustande spezifisch leichter, als im geschmolzen-flüssigen; er sinkt somit als Abkühlungsprodukt oder Schlacke keineswegs in dem Glutbrei unter, aus welchem er hervorgegangen ist, und wenn dieser Vorgang sich lange Zeit ununterbrochen vollzieht, so wird zuletzt eine starre Rinde sich über der glühenden Flüssigkeitsmasse lagern. Die Versuche des Engländers *Mallet* haben dieser Anschauung den Weg gebahnt, neuere Versuchsreihen aber, die man italienischen und englischen Physikern verdankt, haben ihr zum endgiltigen Siege verholfen. In erster Linie jedoch sind *Nies* und *Winkelmann* zu nennen, welche Zinn, Kupfer, Blei, Zink, Wismut, Kadmium, Antimon, Eisen, verschiedene Silikate und Metallegierungen der Prüfung unterwarfen; ja späterhin wurde *Nies* sogar in die Lage versetzt, den Versuch auf einen so schwer erhältlichen Artikel, wie es *Gold* ist, auszudehnen. *Millar* allerdings, der namentlich mit Eisen, Blei und Kupfer operierte, hat sich der hier vertretenen Interpretation der Versuchsresultate nicht angeschlossen, indem er das Schwimmen des festgewordenen auf dem noch flüssigen Minerale mit einer der glutflüssigen Masse angeblich innewohnenden zurückstossenden Kraft in Verbindung bringen will, doch ist dieser Standpunkt bisher ein isolierter geblieben.

Unter einem wesentlich anderen Gesichtspunkte hat *Werner Siemens* die hier obschwebende Streitfrage betrachtet. Ausgedehnte Beobachtungen, welche er an *Glasflüssen* gemacht, zwangen ihm die Erkenntnis auf, dass bei dem allmählichen Erkalten des geschmolzenen Glases alle möglichen Grade der Zusammenziehung folge-

weise durchgemacht werden, bis endlich die Kontraktion, mit welcher eine Vergrösserung der Dichte Hand in Hand geht, überhaupt aufhört und sich in dem Momente, da das Glas wirkliche Festigkeit erlangt hat, in eine natürlich nur geringe Ausdehnung verwandelt. Höchst wahrscheinlich spielen sich auch bei anderen geschmolzenen Massen ähnliche kontinuierliche Aenderungen des molekularen Zustandes ab.

So viel dürfen wir mithin als sicher annehmen, dass der Hypothese, welcher zufolge die Starrheit nur einer verhältnismässig dünnen äusseren Schale des Erdkörpers eignet, mancherlei gute Gründe zur Seite stehen. Diese Hypothese würde unbedingt angenommen werden müssen, wenn nicht die Astronomie uns mit gewissen Thatsachen bekannt gemacht hätte, die sich zunächst nur mit einer durch und durch starren Erde in Einklang setzen lassen zu können scheinen, und an denen jedenfalls, wenn man ein sicheres Urteil über die *Rigidität* oder *Viskosität* [1]) der Erde gewinnen will, nicht achtlos vorübergegangen werden darf.

Astronomische Gründe für die Starrheit der Erde. In Angriff genommen wurde die mathematische Behandlung durch *Hopkins; W. Thomson, G. H. Darwin, Barnard, Henessey, Hill* u. a. folgten auf dem durch jenen erschlossenen Wege nach, und fast ausschliesslich sind es nur Vertreter der angelsächsischen geophysikalischen Schule, welche Beiträge zur Lösung dieses Problemes geliefert haben. Es kommt dabei wesentlich auf die Phänomene der *Präzession* und *Nutation* an, mit denen es die folgende Bewandtnis hat. Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so würde ihre Achse, während die erstere in einer Ellipse sich um die Sonne bewegt, sich stets parallel bleiben; nun hat sie aber keine sphärische, sondern eine ellipsoidische Gestalt, und infolge dessen bewirken die von Sonne und Mond auf sie ausgeübten Anziehungskräfte eine anderweite Bewegung der Erdachse: *dieselbe legt im Verlaufe eines sehr langen Zeitraumes, von ungefähr 26700 Jahren, den Mantel eines graden Kreiskegels von angenähert 47° Achsenöffnung zurück.* Wäre bloss diese *Lunisolarpräzession* vorhanden, so wäre auch diese Kreiselbewegung der Erdachse eine durchaus gleichförmige; der Umstand aber, dass die Ebenen, in denen resp. die Erde um die Sonne und der Mond um die Erde läuft, nicht zusammenfallen, sondern einen kleinen Winkel miteinander bilden, hat eine weitere besondere Bewegung der Erdachse zur Folge, deren eingehende Erörterung uns hier zu weit führen würde. Man nennt dieselbe *Nutation* oder *Achsenschwankung.* Es berechnete nun der Analytiker die von Präzession und Nutation bewirkten Achsenablenkungen unter drei verschiedenen Voraussetzungen, wie sich selbe nämlich gestalten muss unter der Voraussetzung eines festen, eines flüssigen und eines teilweise festen, teilweise aber flüssigen Sphäroides. Das ziemlich

[1]) Die Bezeichnungen sind englischen Ursprunges: „*rigidity*“ bedeutet Starrheit und „*viscosity*“ bedeutet Zähflüssigkeit.

übereinstimmende Ergebnis war, dass die Beobachtungen nur dann zufriedenstellend zu erklären seien, wenn man — wo nicht den ganzen Erdkörper, so doch — eine sehr dicke Schale des Erdellipsoides als absolut starr annehme.

Eine wertvolle Stütze schien der Rigiditätshypothese zu erwachsen durch die Untersuchungen *W. Thomsons* über das Gezeitenphänomen. Dasselbe gehört in die Dynamik des Meeres und folglich bei uns in Abschnitt XIII, allein ist es ja freilich von vornherein nicht ausgeschlossen, dass die Attraktion der Sonne und des Mondes nicht bloss die flüssigen Hüllen des Erdballes, sondern auch diesen selbst gestaltändernd beeinflusse. Wenn letzteres nicht geschieht, wenn die Erdfeste auf diese Kraftwirkung ganz und gar nicht reagiert, dann sind die am Pegel zur Zeit der Flut und Ebbe gemessenen positiven und negativen Höhen über dem Mittelwasserstande die wirklichen Gezeitenhöhen; falls aber jene Kräfte auch eine gewisse Deformation des Erdellipsoides selbst zuwege bringen, hat man es mit sogenannten *Differentialgezeiten* zu thun. *Thomson* nun war der Meinung, dass nichts für diese letzteren spreche, dass sohin der Erdkörper eine völlig unnachgiebige Masse darstelle. Allein wenn dem so wäre, so müssten sich dem Flutkalkul zufolge notwendig *Fluten von längerer Periode* herausbilden, und gerade solche scheinen, soweit man sich bisher ein Urteil erlauben darf, noch nicht sicher nachgewiesen zu sein [1]). Ein sicheres Argument gegen die Viskositätslehre lässt sich eben auch auf diesem Wege nicht gewinnen.

Ja, es fehlt sogar, von den nachher zu erörternden geologischen und geophysikalischen Gründen ganz abgesehen, auch nicht an astronomischen Momenten, die eher für die Beweglichkeit, als für die Starrheit des Erdinneren in die Wagschale fallen. Wir meinen vor allem die mehr und mehr hervortretende Thatsache, *dass die Polhöhe oder geographische Breite irgend eines Erdortes keine völlig konstante Grösse ist.* Erheblich sind nun wohl diese Schwankungen nicht [2]), sie erstrecken sich nur auf so kleine Beträge, dass die gewöhnliche geographische Ortsbestimmung recht wohl jenen Winkelwert nach wie vor als von der Zeit unabhängig ansehen darf, allein vorhanden sind sie eben doch, das ist durch die Arbeiten von *Hall, Schiaparelli, Küstner*, *Schwahn* u. a. ausser Zweifel gestellt, und auch die *Rotationsdauer der Erde* ist, wenn *Glasenapps* bezügliche Beobachtungen

[1]) Eine neuere mathematische Behandlung, welche *Darwin* der Frage nach der Existenz längerer und kürzerer Flutperioden angedeihen liess, bestätigt die von *Zöppritz* geäusserte Vermutung, dass die ersteren sich in dem uns zu Gebote stehenden, noch ziemlich dürftigen Beobachtungsmateriale nichts weniger als bestimmt ausprägen.

[2]) Merkwürdig ist besonders, dass die Aenderungen in der Grösse der Polhöhe durchweg im Sinne einer progressiven Verminderung sich vollziehen. Eine zehnmonatliche Periode dieses Winkelwertes ist übrigens auch durch den Umstand mit Notwendigkeit gegeben, dass von den drei Hauptträgheitsmomenten des Erdkörpers die beiden auf die äquatorialen Hauptachsen bezüglichen nicht im strengsten Sinne einander gleich sind, während allerdings die Theorie der Niveausphäroide (S. 47) eine solche Gleichheit voraussetzte.

nicht vielleicht nur auf noch nicht behobene Unvollkommenheiten unserer Mondtafeln hinweisen (S. 1), sehr kleinen periodischen Irregularitäten unterworfen[1]). Auch die von *Folie* und *Ronkar* theoretisch untersuchte *tägliche Nutation* würde sich am einfachsten aus einer gewissen Ungleichmässigkeit in der Achsendrehungsbewegung der festen und der beweglichen Bestandteile des Erdkörpers erklären lassen, doch ist hierüber, wie namentlich *De Balls* Vergleichung der nach *Struve* und nach *Nyrén* berechneten Nutationskonstanten lehrt, etwas Zuverlässiges noch kaum auszusagen[2]).

Wie es sich nun auch hiermit verhalten mag, so setzt eben doch die Gegnerschaft der Analytiker an einem Punkte ein, der sich bei näherer Betrachtung nur dann als ein wirklich schwacher herausstellt, *wenn man den Erdball aus zwei ganz getrennten Bestandteilen, aus einer unelastischen Kruste und aus einer sich an deren Innenseite unmittelbar anschliessenden kompakten Kugel von Magma*[3]) *zusammengesetzt annimmt.* So denken sich allerdings in England viele Forscher von Ruf die Dinge gelagert, und für die Begreifung der vulkanischen Erscheinungen hat diese Vorstellung gewiss ihre guten Seiten, allein sie widerspricht durchaus dem Grundsatze, dass die Natur keine Sprünge macht, und sie weiss auch den Einwürfen der *Hopkins*schen Richtung nicht mit ausreichenden Gründen zu begegnen. Wenn *Wadsworth* den Vorschlag macht, sich um die der kosmischen Physik entlehnten Einwürfe überhaupt nicht zu kümmern und die Entscheidung lediglich nach geologischen Gesichtspunkten zu treffen, so wird er damit keinen Beifall finden bei allen, denen die Einheitlichkeit der Wissenschaft am Herzen liegt. Einen Knoten zerschlagen, ist leicht, seine Lösung ist schwerer. Es wird aber die Lösung möglich sein, sobald man sich auf den im folgenden Satze präzisierten Standpunkt stellt:

Die Annahme, dass sich im Inneren der Erde alle nur denkbaren Aggregatzustände der Materie mit unmerklichen und stetigen Uebergängen vorfinden, ist sowohl diejenige, welche die geologischen Erscheinungen der Vorzeit und Gegenwart am besten erklärt, als auch diejenige, welche vor den Einwänden der Astronomen am besten standhält.

Eine in der angegebenen Weise geschichtete Kugel nämlich wird, was ihre rotatorische Bewegung anlangt, ziemlich wie eine aus starrem Stoffe homogen zusammengesetzte sich verhalten. Die Bewegungsunterschiede der festen und der flüssigen Kugelschalen erscheinen auf ein Minimum herabgedrückt, wo nicht gänzlich aufgehoben.

[1]) Vollständig ablehnen müssen wir a priori die Möglichkeit, dass aus solchen im besten Falle minimalen Ungleichheiten der Tagesdauer in verschiedenen Zeiträumen irgendwelche weittragende Schlüsse geologischer Natur gezogen werden.

[2]) *Lehmann-Filhès* leugnet neuerdings die Erkennbarkeit einer Tagesschwankung ganz und gar ab.

[3]) Das Wort μάγμα bedeutet ursprünglich einen dickflüssigen Teich und rührt nicht von μιγνύναι (mischen), sondern von μάσσειν (kneten) her.

Gasförmige Massen in den zentralen Partien der Erde. Aus einem 1793, drei Jahre nach dem Tode des Briefstellers, veröffentlichten Schreiben *Benjamin Franklins* an den Abt *Soulavie* erfuhr man, dass der amerikanische Physiker sich das Innere des Erdballes als mit komprimierter Luft erfüllt gedacht hatte. Auf Grund des *Boyle-Mariotteschen* Gesetzes [1]) berechnete er, in welcher Tiefe unter der Oberfläche die Luft hinlänglich verdichtet sein müsse, um Stoffe von irgendwelcher Dichte tragen zu können; bei 39910 Toisen Tiefe kann Zinn, bei 43528 Toisen Tiefe kann Gold auf dortselbst angenommener Luft schwimmen. In völligem Einklange mit *Kant* sah *Franklin* in der Erde von heute nur das Endergebnis eines gewaltigen Kondensationsprozesses; die ursprünglich über einen sehr grossen Raum verbreitete Dunstmasse habe sich auf eine Gaskugel von kleinem Radius zurückgezogen, innerhalb deren energische abstossende Kräfte thätig seien, und um welche sich aussen eine nicht allzu dicke feste Kruste herumlege. *Lichtenberg* griff diesen Gedanken eifrig auf und verbesserte ihn in dem Sinne, dass er den Begriff dessen, was *Franklin* kurzweg Luft genannt hatte, schärfer bestimmte. „Was *Franklin* hier Luft nennt," sagt er [2]), „hat man sich meiner Meinung nach nicht, wenigstens anfangs nicht, als atmosphärische zu denken, sondern als die Sammlung und die Summe der elastischen Flüssigkeiten, in die vermutlich alle Körper der Welt aufgelöst werden können." Dieser scharfsinnige, der neuesten Zeit vorgreifende Gedanke hat weitere Folgen nicht gehabt, und auch von später haben wir nur einer Andeutung *Herbert Spencers* zu gedenken, dass der zentrale Teil des Erdkörpers durch hoch gespannte Dämpfe gebildet werden möchte.

Die seit zwei Jahrzehnten auf der Tagesordnung stehenden Studien über die Natur der Gase haben nun endlich die Mittel dazu an die Hand gegeben, die naturphilosophischen Erörterungen durch bestimmtere physikalische zu ersetzen. Durch gleichzeitige Anwendung von Druck und Kälte gelang es, eine ganze Reihe von Gasen, die man bislang für *permanent* gehalten hatte, zu verflüssigen, in den tropfbaren und schliesslich sogar in den festen [3]) Aggregatzustand überzuführen; *Cailletet, Jamin, Pictet* und ganz besonders *v. Wroblewski* haben auf diesem Gebiete mit nachhaltigem Erfolge gearbeitet. Dieser Entdeckung stand jedoch eine zweite von mindestens ebenso grosser Tragweite zur Seite: die Entdeckung des *kritischen Temperaturpunktes* durch *Andrews*, dem allerdings *Cagniard de la Tour* und *Faraday* bereits entsprechend vorgearbeitet

[1]) Dass das *Mariottesche* Gesetz nur eine Annäherung darstelle, unterliegt seit den Versuchen *Regnaults*, *Amageats* u. a. keinem Zweifel mehr. Die Abweichungen von der Wahrheit treten mehr und mehr zu Tage, je näher das Gas seiner Verflüssigungsgrenze kommt.

[2]) *Gamauf*, Erinnerungen aus *Lichtenbergs* Vorlesungen über die physikalische Geographie, Wien-Triest 1818. S. 378 ff.

[3]) Für die Form des Molekularzusammenhanges, die bei den Druckversuchen zuerst erreicht wird, hat *A. Ritter* die bezeichnende Benennung *Schneewolken-Aggregatzustand* in Vorschlag gebracht.

hatten. Für das Volumen irgend eines gasförmigen Stoffes hat *van der Waals* eine sogenannte *Zustandsgleichung* aufgestellt, welche algebraisch und vom dritten Grade ist, und in der ausser Druck und Temperatur nur noch konstante Grössen vorkommen. Wenn nun die zuletzt erwähnten beiden Veränderlichen so gewählt werden, dass die obige Gleichung drei gleiche Wurzeln erhält, so ist der entsprechende Temperaturwert nach *F. Roth* derjenige, den man eben als kritisch bezeichnet. *Uebersteigt die Temperatur eines Gases diese — für verschiedene Materien selbstredend variierende — Grenze, so ist das Gas ein im wahren Sinne des Wortes permanentes geworden, und es ist auch der allerstärkste Druck nicht mehr vermögend, dasselbe flüssig zu machen.* Begreiflicherweise liegt der kritische Punkt um so höher, je schwerer der betreffende Stoff zum Sieden gebracht werden kann; für Kohlensäure wird er bereits bei 30,9 ° erreicht, bei Wasser aber erst zwischen 300 und 400 °, und so in anderen Fällen. Von diesen Errungenschaften der modernen Physik wollen wir nun für das uns zur Zeit beschäftigende Fundamentalproblem der Geophysik Nutzen zu ziehen suchen.

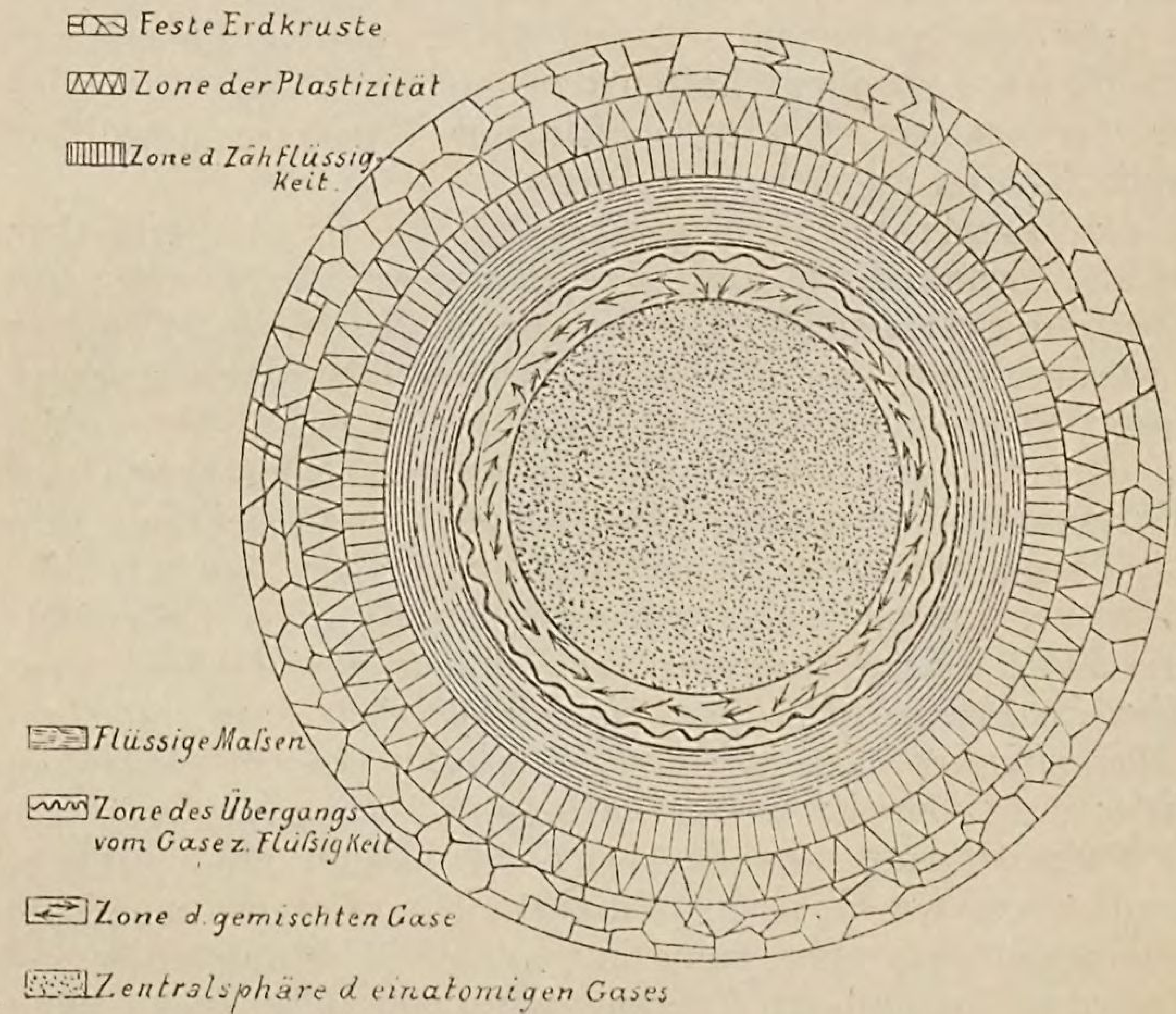
Wenn die Temperatur in dem Masse steigt, als man sich dem Mittelpunkte der Erde nähert, und wir haben erwähntermassen allen Grund, uns von der Steigerung der Erdwärme diese Vorstellung zu machen, so werden, mag nun die geothermische Tiefenstufe noch so gering angesetzt werden, allmählich Hitzegrade erreicht werden, welche alles dem Menschen Bekannte, in seinen Laboratorien und Hochöfen Vorkommende weitaus übertreffen. Voraussichtlich gibt es kein Gas, dessen kritischer Punkt nicht niedriger läge, als diejenige Temperatur, welche in der näheren Umgebung des Erdmittelpunktes herrscht[1]). *Eine zentrale Kugel von vielleicht nicht ganz kleinem Radius im Inneren der Erde wird demgemäss durch eine Gasmasse im überkritischen Zustande erfüllt sein.* Diesen Gedanken haben *A. Ritter* und *Zöppritz* weiter ausgeführt. Eine Gaskugel, wie sie hier in Frage kommt, befindet sich in indifferentem Gleichgewichte, und wenn wir uns ein distinktes Gasvolumen innerhalb dieser Masse irgend eine Bewegung in radialer Richtung antretend denken, so werden alle anderen Partien durch diesen Vorgang nicht im mindesten berührt, und das erwähnte Gasvolumen eignet sich widerstandslos die Druck- und Temperaturverhältnisse der Oertlichkeit an, bis zu welcher es bei seiner Bewegung gelangt ist.

Anordnung der Aggregatzustände im Erdinneren. Es ist nicht wahrscheinlich, dass im Inneren des glühenden Gasballes, dessen Zustände wir soeben unter dem physikalischen Gesichtspunkte betrachteten, die einzelnen Gase ihre *chemische Sondereigenschaft* beibehalten, vielmehr muss man mutmassen, dass die Individualität der Gase dort vollständig verloren gegangen ist. Ueberhaupt hat ja

[1]) Man wolle nicht vergessen, dass in jenen Regionen zwar ein sehr starker Druck herrscht, dass aber das Gas in seinem überkritischen Zustande der Einwirkung des Druckes ganz und gar entzogen ist.

die Ueberzeugung allseitig Boden gewonnen, dass sämtliche Stoffe, bei aller ihrer sonstigen Verschiedenheit, aus *Atomen* im Sinne der guten, alten, griechischen, von *Gassendi* neu begründeten, von *Lasswitz* den Anforderungen der fortschreitenden Wissenschaft angepassten Atomistik sich zusammensetzen, d. h. aus sehr kleinen, absolut harten und unelastischen, im übrigen aber qualitätslosen Elementarkörperchen von einfachster stereometrischer Form, und dass die scheinbar unendliche Mannigfaltigkeit der Körperwelt einzig und allein durch die wechselnde Art des Zusammentretens dieser Atome zu Molekeln und der Atome wieder zu eigentlichen Körpern bedingt ist. Eine Hitze, wie sie in der zentralen Gaskugel obwaltet, muss den Zerfall der Molekel zur notwendigen Folge haben, und es besteht deshalb,

Fig. 12.



wenn unsere Hypothese das Richtige trifft, das Erdinnere im engeren Sinne aus einem *einatomigen Gase*. Gewisse Eigenschaften des Gases, die wir im Geiste der mechanischen Wärmetheorie als mit einem solchen untrennbar verbunden zu denken gewohnt sind, werden diesem Gase allerdings fehlen, oder sie werden doch nur in Latenz vorhanden sein. *Der interne Gasball hat keine aktuelle, sondern ausschliesslich potentielle Energie, ist ein ungeheures Kraftreservoir.* Was die Dichte in diesen zentralen Partien anlangt, so kann sie angesichts des Konzentrationszustandes, in welchem sich die Gasatome notwendig befinden, sehr wohl eine ganz erheblich grössere sein, als wir nach den im Experimentiersaale ausgeführten Gasdichtebestimmungen glauben würden, und es ist deshalb die oben (S. 42) gewonnene Einsicht, dass die spezifisch schwereren Stoffe der Erde

nicht an deren Oberfläche zu suchen seien, recht gut mit unserer Hypothese zu vereinbaren.

Wir suchen uns an der Hand der letzteren nunmehr ein Bild davon zu machen, wie sich bei einer längs eines Halbmessers vollzogenen Wanderung vom Erdzentrum gegen die Oberfläche hin die einzelnen Zustände, in denen ein Körper aufzutreten vermag, folgen müssen, und zwar soll *Fig. 12* zur besseren Fixierung der Ideen dienen; nur muss daran erinnert werden, dass die Kreise, welche in der Zeichnung die einzelnen Sphären voneinander scheiden, nicht wirklich in der Natur vorhandenen Trennungsflächen entsprechen, dass vielmehr, wie dies *Zöppritz* mit Entschiedenheit betont hat, der Uebergang als ein durchaus stetiger anzusehen ist. Nur im grossen und ganzen können wir *sieben verschiedene Zustandsformen* unterscheiden, deren Wesen wir, soweit es nicht schon geschehen ist, im folgenden mit einigen Worten zu kennzeichnen suchen.

I. *Zentralsphäre der einatomigen Gase* (s. o.).

II. *Zone der gemischten Gase.* In demselben Masse, wie die Temperatur sinkt, finden sich die Atome wieder zu molekularen Gruppen zusammen, und damit ist auch die *Individualisierung der einzelnen Gase* wieder zur Möglichkeit geworden. Am frühesten, d. h. dem Mittelpunkte zunächst, wird diese Rückbildung für die spezifisch leichtesten Gase, z. B. für Wasserstoff, eintreten. In grösserer Entfernung vom Zentrum sinkt die Temperatur immer mehr, während der Druck noch immer ein sehr starker ist, und es werden sich hier demzufolge Gase ansammeln, welche dem *Mariotte*schen Gesetze nicht mehr gehorchen.

III. *Zone des Ueberganges vom Gase zur Flüssigkeit.* Von dem soeben berührten Zustande der Gase ist es nur noch ein einziger Schritt bis zur wirklichen Verflüssigung derselben. Dieser Uebergang wird sich allmählich in einer dritten Kugelschale vollziehen, während weiter nach aussen zu wirkliche tropfbare Flüssigkeit einen vierten Kugelring erfüllen muss.

IV. *Flüssige Massen.* Die Ueberzeugung, dass auch der Begriff des Tropfbar-flüssigen kein einheitlicher sei, sondern eine ganze Reihe von Zwischen- und Uebergangszuständen in sich begreife, ist in neuerer Zeit eine immer allgemeinere geworden. So wird es denn auch im Inneren dieser unserer vierten Zone aussehen, die freie Verschiebbarkeit der Teilchen wird eine immer geringere werden, bis endlich in der

V. *Zone der Zähflüssigkeit* die Masse jenen Grad von Konsistenz angenommen hat, welche wir als für das eigentliche Magma charakteristisch bereits kennen gelernt haben. Inwieweit dieses Magma dann, wenn ihm durch Spalten und Risse in der darüber befindlichen Decke Gelegenheit zum Aufsteigen geboten würde, dieselbe benützt, das bedarf einer besonderen Untersuchung, mit welcher man es bisher wohl etwas zu leicht genommen hat.

VI. *Zone der Plastizität.* Wenn wir nämlich nicht die ganze Betrachtungsweise, welche uns bisher geleitet hat, mit einem male fallen lassen wollen, so müssen wir notgedrungen annehmen, dass

auch die Verfestigung des Magmas nur langsam und allmählich vor sich gehe. Dasselbe wird aus einer dickflüssigen eine feste Masse, die sich aber in grösserer Tiefe unter der Oberfläche noch nicht starr und unnachgiebig, sondern *gegen Druck plastisch* verhält, in ähnlicher Weise, wie wir dies später (in Abschnitt XV) vom Eise der Gletscher kennen lernen werden. Abgesehen von der Konsequenz des ganzen Gedankenganges wird das Vorhandensein einer solchen Plastizitätszone auch gebieterisch gefordert durch die in Abschnitt VI darzulegende moderne Theorie der Gebirgsbildung, und sie entfliesst auch als Korollar aus gewissen Untersuchungen über die Druckverhältnisse im Inneren der Erdkruste, wie sie von *Bauschinger* angestellt worden sind. Derselbe stellte einen allgemeinen analytischen Ausdruck auf, welcher das *Mass der Spannungen* für ein beliebiges Körperelement in einer bestimmten Tiefe normiert, und erörterte insbesondere das Verhalten einer in diesen Ausdruck veränderlichen Grösse, welche verschiedene Werte annimmt, je nachdem der Druck in dieser oder jener Richtung erfolgt. Sobald aber die auf dem Körperelemente lastende Masse eine gewisse Grösse überschritten hat, nähert sich die erwähnte Variable rasch einer Konstanten, mit anderen Worten: *wenn der Druck hinlänglich gross geworden, so pflanzt er sich auch in einem festen Körper nach allen Seiten gleichmässig fort*, und damit ist eben ein Anhaltspunkt dafür gegeben, dass unter sehr starkem Drucke der Unterschied zwischen dem festen und dem tropfbar-flüssigen Zustande sich vollständig verwischt, dass der feste Körper *latent-plastisch* geworden ist. Experimente, welche *Spring*, *Daubrée* und *Tresca* mit der hydraulischen Presse angestellt haben, zeigten, dass dieser Zustand sich sogar im Laboratorium herstellen lässt, dass derselbe also in jenen Regionen der Erdkruste, auf welchen der Druck einer Masse von mehreren Kilometer Mächtigkeit lastet, sich ganz von selbst einstellen wird. Das einzige scheinbar ernstliche Bedenken gegen die Annahme einer solchen Plastizität werden wir in Abschnitt VII kennen zu lernen und bezüglich seiner wirklichen Tragweite zu würdigen haben. Jedenfalls lässt bei grösserer Annäherung an die Oberfläche die Verschiebbarkeit der Partikeln mehr und mehr nach, und es verbleibt nach aussen zu:

VII. *Die feste Erdkruste.* Wie gross wir deren Dicke anzunehmen haben, darüber gehen die Ansichten der Fachmänner weit aus einander, weshalb wir auch auf die Wiedergabe irgendwelcher bestimmter Zahlwerte Verzicht leisten. Gebildet wird diese Kruste durch *Mineralstoffe* aller Art, worunter jedoch die *Metalle* der Quantität nach nur eine unbedeutende Rolle spielen, während *Gestein* das allein wesentliche Material zum Aufbau der Erdrinde geliefert hat. Die physikalische Erdkunde stützt sich, indem sie diesen Aufbau studiert, auf die als *Lithologie* oder *Petrographie* bezeichnete Disziplin, welche die einzelnen Gesteinsarten nach ihren chemischen und krystallographischen Besonderheiten prüft. Für uns ist zunächst nur folgendes massgebend. Unter der Fülle aller bis jetzt bekannten Mineralien sind nur einzelne, welche als *gesteins-*

bildende Mineralien auftreten; nach *v. Fritsch* kann man die Anzahl der ersteren auf 1000, die der letzteren, der wirklichen *Felsbildner*, bloss auf 70 bis 80 veranschlagen, und unter diesen wieder kommen viele so selten und sporadisch vor, dass der eine Feldaufnahme leitende Geologe für gewöhnlich kaum mit mehr als 50 wirkliche Bekanntschaft zu machen Gelegenheit findet. Nur ausnahmsweise findet man grössere Felsmassen, die durch und durch eine mineralogische Einheit darstellen; in der grossen Mehrzahl der Fälle sieht man selbst in einem geschlagenen Handstücke eine Vielzahl von felsbildenden Mineralien vermengt.

IV. Geognosie und Stratigraphie.

Die gesteinsbildenden Mineralien. Lediglich als eine Einschaltung aus dem Gebiete einer anderen Wissenschaft nehmen wir aus der Petrographie eine kurze, nur das Unumgängliche enthaltende Charakteristik der wichtigsten Elementarmineralien herüber. Es sind diejenigen, welche zu kennen und ihrer Eigenart nach zu unterscheiden, auch dem Geographen als solchem anempfohlen werden muss, wenn auch derselbe selbstverständlich eine genauere Analyse [1]) der von ihm bei seinen Wanderungen gesammelten Gesteinsproben, dem Geiste der Arbeitsteilung getreu, dem Mineralogen überlassen wird. Wir glauben mit 28 Nummern auszureichen; hinsichtlich der Aneinanderreihung derselben folgen wir *v. Fritsch*.

1. *Graphit*, ganz oder nahezu reiner Kohlenstoff von schwarzem Metallglanze [2]); in Gebirgen höheren Alters überhaupt nicht selten, wogegen grosse Lager des reinen Graphits bis jetzt nur in den sibirisch-chinesischen Grenzgebirgen erschlossen worden sind [3]).

2. *Schwefel*, rhombisch krystallisierend.

3. *Steinsalz* oder *Chlornatrium*, von tesseraler Krystallisation. Steinsalz ist ein im eminentesten Sinne felsbildender Stoff; in unseren alpinen Salzbergwerken tritt es allerdings durchweg mit Sand- und Mergelgestein derart vermengt auf, dass seine bergmännische Ge-

[1]) Diese Analyse ist teils eine chemische, teils eine mineralogisch-optische. Zu letztgedachtem Zwecke stellt man eine äusserst dünne Platte des zu untersuchenden Stoffes, einen sogenannten *Dünnschliff*, her, den man nun unter das Mikroskop bringt, und auf den man sowohl gewöhnliches als auch polarisiertes Licht einwirken lässt. Diesem letzteren gegenüber verhalten sich bekanntlich ein- und zweiachsige Krystalle ganz verschieden.

[2]) An dieser Stelle beschreiben wir den Graphit so, wie er ist; auf seine Entstehungsgeschichte wird nachher, wenn wir allgemein der sogenannten phytogenen Gesteine gedenken, noch besonderes Licht fallen.

[3]) Diese Lager hat von der russischen Regierung die bekannte Firma *L. Faber* in Stein bei Nürnberg gepachtet, um dieselben für die Bleistiftfabrikation auszubeuten.

winnung nur durch Auslaugung und nachherige Versiedung des mit Salzteilen gesättigten Wassers in den *Salinen* erfolgen kann, aber in den berühmten Gruben von *Wieliczka* und *Bochnia* in Galizien bildet reines Salz eine kompakte, der fremden Beimischungen durchweg entbehrende Gebirgsmasse.

4. *Schwefelkies* oder *Pyrit,* im chemischen Sinne *Doppelschwefeleisen,* aus messingglänzenden Krystallen bestehend.

5. *Wasserkies* oder *Markasit,* vom vorigen nur durch die Art der Krystallisation verschieden.

6. *Brauneisen* oder *Limonit*, ein Eisenoxydhydrat, welches hauptsächlich als Färbestoff auftritt, indem bei seinem Hinzukommen eisenhaltige Mineralien eine gelbliche oder bräunliche Färbung annehmen. Aehnlich verhält sich *Eisenglanz* oder *Roteisen.*

7. *Magneteisen* oder *Magnetit,* ein oktaedrisch krystallisierendes Erz, welches wegen seiner durch den Namen angedeuteten Eigenschaften uns in Abschnitt IX wiederum begegnen wird (Eisenoxyduloxyd).

8. *Quarz,* wasserfreie Kieselsäure, hexagonal (Siliziumbioxyd), welche in den denkbarst verschiedenen Spielarten — man hat deren mehr denn 170 einzeln beschrieben — in der Natur vorkommt. *Bergkrystall, Amethyst, Jaspis, Chalzedon, Achat, Hornstein* sind, wenigstens soweit es auf das spezifische Gewicht und den *Härtegrad* [1]) ankommt, als Varietäten des Quarzes anzusehen.

9. *Opal*, eine amorphe Substanz, in welcher das Siliziumbioxyd mit etwas Wasser verbunden auftritt. Hierher gehören die in warmen Quellen sich bildenden *Kieselsinter.*

10. *Kaolinit* oder *Aluminiumhydrosilikat,* bei Befeuchtung aufschwellend, bei Abgabe des Wassers brüchig werdend, unrein die Thone bildend.

11. *Orthoklas,* der monokline *Kaliumfeldspat,* der sich dadurch von anderen Feldspäten leicht unterscheiden lässt, dass bei Spaltung die beiden Bruchflächen einen rechten Winkel mit einander bilden. In seiner *glasigen* Abart wird der Orthoklas auch *Sanidin* genannt.

12. *Plagioklas* oder trikliner Feldspat, auf dessen Spaltflächen eine für das Mineral typische *Zwillingsstreifung* bemerkbar wird. Je nachdem Natrium oder Kalzium in dem Feldspate vorwiegt, spricht man von *Albit oder Anorthit.* Hierher gehören auch *Oligoklas* und *Labrador.*

13. *Leuzit,* das kaliumreichste aller bekannten Silikate, glänzend und durchscheinend. Was bei diesem kaliumhaltigen Silikate eben dieses letztgenannte Element, das ist das Natrium beim

14. *Nephelin,* von dem eine fettglänzende Abart als *Eläolith* bezeichnet wird. Ganz dasselbe Silikat liegt dem in Rhombendodeka-

[1]) Die von *Mohs* angegebene *Härteskala* dient nicht wenig dazu, sich über die Natur eines vorgelegten Minerales zu vergewissern. Man reiht in diese Skala zehn Stoffe ein: Talk, Gips, Kalkspat, Flusspat, Apatit, Feldspat, Quarz, Topas, Rubin, Diamant. Wenn nun z. B. jenes Mineral, welches man Andalusit nennt, von Topas geritzt wird, selbst aber den Quarz ritzt, so steht seine Härte mitten inne zwischen 7 und 8, ist ungefähr gleich 7,5.

edern krystallisierenden, meist durch seine schöne blaue Farbe sofort auffallenden *Hauyn* oder *Nosean* zugrunde.

15. *Glimmer*, ein Sammelname für eine ganze Menge von Silikaten, denen die Spaltbarkeit nach dünnen, elastischen Lamellen gemeinsam ist. Ist die Farbe des Glimmers eine weissliche, so hat man es mit Kaliumglimmer oder *Muskowit* zu thun, wogegen der Magnesiumglimmer oder *Biotit* dunkel gefärbt erscheint. Der Natriumglimmer, *Paragonit*, kommt nur in Gestalt zarter Schuppen vor. *Serizit* ist ein seidenartig glänzendes Glimmermineral.

16. *Schörl* oder schwarzer *Turmalin*, ein stark zusammengesetztes, dunkles Silikat. Die Optik hat an dem Minerale wegen seiner ungewöhnlich entschiedenen Doppelbrechung besonderes Interesse genommen, und auch auf das eigentümliche elektrisch-thermische Verhalten desselben ist schon vor mehr denn hundert Jahren hingewiesen worden [1].

17. *Granat*, eine Kieselsäureverbindung, die vielfach in roten Rhombendodekaedern krystallisiert und hierdurch leicht erkennbar wird. Ebenso ist der chemisch ähnlich zusammengesetzte, aber auch Kalzium enthaltende

18. *Epidot* durch auffallend grüne Färbung von anderen Silikaten unterschieden. Derselbe ist stark *pleochroitisch*.

19. *Chlorit*, in derselben Weise, wie es beim Glimmer (s. o.) der Fall war, ein Kollektivbegriff für wasserstoffhaltige Silikate von Magnesium, Eisen und Aluminium. Ein gleiches gilt für die

20. *Hornblenden* oder *Amphibole*, in denen aber kein Wasser enthalten ist, sowie für die ihnen vielfach verwandten

21. *Augite* oder *Pyroxene* [2], zu denen als Varietät der durch seinen perlmutterartigen Glanz hervorstechende *Diallag*, der in Meteoriten (S. 5) häufig anzutreffende *Enstatit* und der im hohen Norden überaus häufige, sehr eisenreiche *Hypersthen* oder *Hyperit* [3]) gehören.

22. *Olivin* oder *Peridot*, im frischen Zustande olivengrün und glasglänzend, durch Verwitterung aber häufig so zerstört, dass diese Eigenschaften völlig in den Hintergrund treten. Durch den grösseren Glanz, durch Härte und Krystallisation unterscheidet sich Olivin von

23. *Serpentin*, einem fast undurchsichtigen, schwärzlich-lauchgrünen Minerale, welches ebenso wie der

24. *Talk*, ein weicher, leicht in Blättchen von geringer Elastizität spaltbarer Körper von grünlichweisser Farbe, zu den Hydrosilikaten des Magnesiums gehört.

25. *Kalkspat* oder *Kalzit*, ein wasserhelles Kalziumkarbonat.

[1]) *Aepinus*, *Recueil des différents mémoires sur le Tourmaline*, St. Petersburg 1762.

[2]) *v. Fritsch* hat vorgeschlagen, diejenigen Mineralien, welche, wie Hornblende und Augit, dem Gesteine, bei dessen Komposition sie sich beteiligt haben, eine schwärzliche Färbung erteilen, als *Erebennite* — τὸ ἔρεβος, die Finsternis — zu einer besonderen Reihe zusammenzufassen. Soweit wir jedoch sehen können, hat dieser Vorschlag keine Unterstützung in Fachkreisen gefunden.

[3]) Im hohen Norden, zumal auf Spitzbergen, soll dieses Mineral für sich allein, als *Hypersthenfels*, ganze Gebirgsstöcke bilden. *Drasche* allerdings bezeichnet diesen Hyperit als Diabas.

26. *Dolomit* [1]) oder *Bitterspat*, im Normalzustande auf ein Molekel kohlensauren Kalkes ein Molekel kohlensaure Magnesia enthaltend, also kurzweg stark magnesiahaltiger Kalkstein. Poröser Dolomit führt den alten bergmännischen Namen ***Rauchwacke.*** Bringt man Dolomit mit erhitzten Säuren in Berührung, so scheidet sich die ihm beigemengte Kohlensäure unter Aufbrausen ab.

27. *Gips*, hydratisiertes Kalziumsulfat, nach drei Richtungen leicht in dünne, rhombische Blättchen spaltbar.

28. *Anhydrit*, wie schon der Name besagt, ein wasserfreies Kalziumsulfat, das rhombisch krystallisiert. In Steinsalzlagern findet sich *Anhydrit* häufig in Wechsellagerung mit reinem Chlornatrium vor (*Gekrösestein*).

Diese hier aufgezählten Mineralien also sind es, aus denen sich die Gesteine, dies Wort im engeren Sinne genommen, grösstenteils zusammensetzen. Die Betrachtung der Gesteine selbst aber kann wieder unter sehr von einander abweichenden Gesichtspunkten erfolgen.

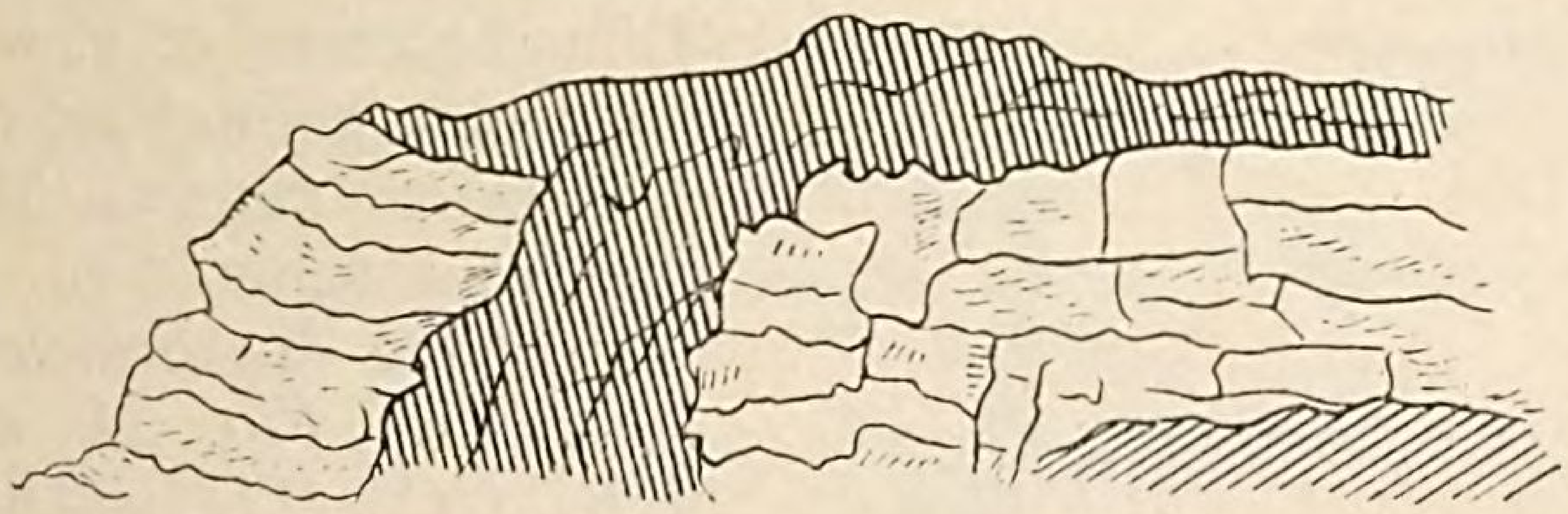
Klassifikation der Gesteine nach ihrer Entstehung. Die Felsmassen der Erde sind durchaus nicht sämtlich auf dieselbe Weise aus jenem Urzustande hervorgegangen, in welchem sich, wenn die *Kant-Laplace*sche Theorie auf Wahrheit beruht, dereinst unser Planet befunden hat. Wir können vielmehr im allgemeinen *fünf Möglichkeiten* der Gesteinsbildung auseinander halten. Die Steine können aus *feurigflüssigem Gusse* erstarrt sein, sie können sich aus Wasser, worin sie suspendiert waren, *niedergeschlagen* haben, bei ihrer Entstehung können endlich *Pflanzen* und *Tiere* massgebend gewesen sein. In letzterem Falle spricht man von *phytogenen* und *zoogenen* Gesteinen. Auch *äolische*, durch die Luft (die Winde) gebildete Gesteine sind denkbar.

Was die erstere Klasse anlangt, so benannte man früher gewöhnlich diejenigen Gesteine, bei denen der Erstarrungsakt vergleichsweise langsam vor sich gegangen war, als *plutonische*, diejenige dagegen, bei welchen jäh ausgeworfenes Magma rasch in den festen Aggregatzustand übergegangen war, als *vulkanische*. Zutreffender ist die von *Rosenbusch* durchgeführte Kategorienbildung. Dieser zufolge unterscheidet man *Tiefengesteine*, welche aus dem Magma in Spalten und Hohlräumen aufgestiegen und, ohne jemals mit der Luft in Berührung gekommen zu sein, allgemach unter dem Drucke der Gebirgsmassen erstarrt sind, ferner *Ergussgesteine*, welche aus den Verbindungskanälen in rapider Bewegung austreten und sich in Form von Decken, Mänteln, Strömen über dem nahe der Ausbruchsstelle bereits befindlichen Gesteine ausbreiten. *Fig. 13*, einen *Melaphyrdurchbruch* in geschichtetem Gesteine zur Anschauung

[1]) Nachdem der französische Naturforscher *Dolomieu* in den Jahren 1789 und 1790 die Gebirge Südtirols gründlich durchforscht hatte, gab er von der dortselbst vielfach aufgefundenen Gesteinsart Nachricht in einer rasch berühmt gewordenen, dem „*Journal de physique*“ von 1791 einverleibten Abhandlung („*Sur un genre de pierres calcaires très-peu effervescentes avec les acides*“).

bringend, stellt insbesondere auch gut die Ausbreitung der überquellenden Glutbreimassen dar, deren Erstarrung, wie wir später sehen werden, allerdings recht oft nur in den äusseren Partien

Fig. 13.



rasch vor sich geht. Eine Mittelstellung zwischen Tiefen- und Ergussgesteinen nehmen die *Ganggesteine* ein, die man ausschliesslich als das Füllmaterial zylindrischer Hohlräume der Erdrinde, der sogenannten *Gänge,* antrifft.

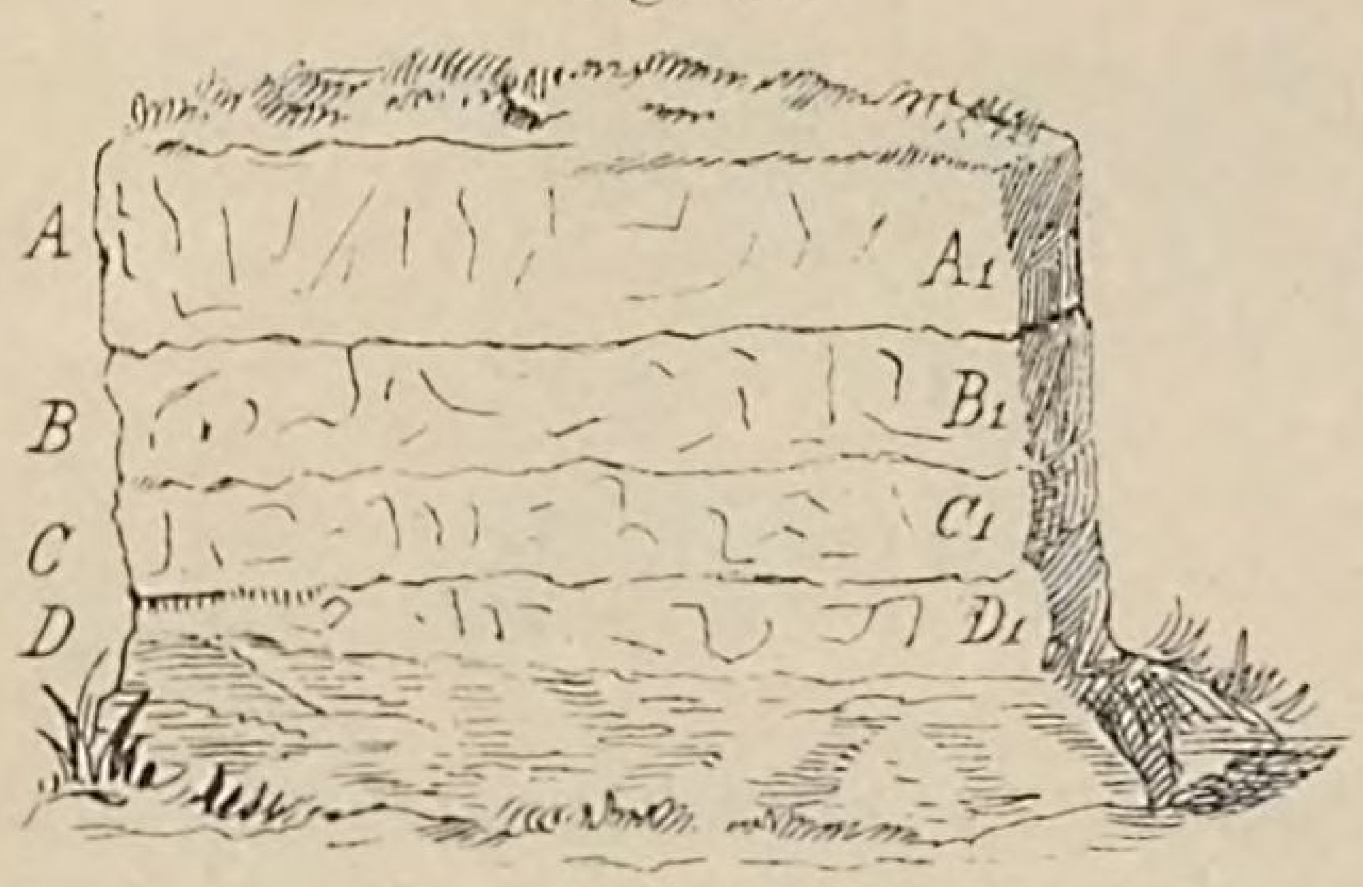
Alle hierher gehörigen Gesteine werden einheitlich als *Massengesteine* bezeichnet. Hinsichtlich der *Struktur,* der Art der Zusammensetzung aus den gesteinsbildenden Mineralien, sind abermals drei verschiedene Fälle möglich: Diese Struktur kann eine *körnige,* sie kann eine *glasige*, sie kann eine *porphyrische* sein, und bei den jüngeren vulkanischen Gesteinen wird nach *Rosenbusch* noch eine *körnig-porphyrische Zwischenform* unterschieden. Was die beiden ersteren Bezeichnungen anbetrifft, so sind dieselben wohl an sich verständlich; die porphyrische Struktur aber ist dadurch gekennzeichnet, dass in einer feinkörnigen Grundmasse kleine kompakte Krystalle als *Einsprenglinge* eingebettet liegen.

Auch die aus dem Wasser abgeschiedenen, die sogenannten *Sedimentgesteine* zerfallen in zwei wesentlich verschiedene Gruppen, je nachdem für sie die *Schichtung* oder die *Schieferung* (*clivage*) bestimmend ist. Im ersteren Falle kann man im Gesteine einzelne, weit mehr in die Länge und Breite, als in die Höhe ausgedehnte Abteilungen unterscheiden, welche durch parallele Ebenen oder auch durch Flächen, die man als aus solchen Ebenen durch einfache Umformung hervorgegangen sich vorstellen kann, von einander getrennt sind, so dass also die einzelnen *Schichten* im Normalzustande wie die Blätter eines Buches aufeinander liegen[1]). Die ältere Bezeichnung für die Schichten, welche gelegentlich auch wohl *Lager* oder *Bänke* heissen, war *Flötze,* und so wurden denn in der *Werner*schen Schule alle Gesteinsmassive, von deren wässriger Entstehung man sich überzeugt halten zu dürfen

[1]) Hie und da, ganz besonders bei den der Juraformation (s. u.) angehörenden Gesteinen, verlaufen die Schichtflächen so absolut wagrecht, dass eine vertikale Felswand dieser Art, aus einiger Entfernung gesehen, oft direkt den Eindruck eines von Menschenhand aufgeführten Bauwerkes hervorruft. Es gilt dies beispielsweise für die steilen Felsabstürze, welche in dem klassischen Juragebiete von Eichstätt-Solnhofen nicht selten vorkommen, sowie auch ganz besonders für die in die Kreidezeit gehörigen, der Einfahrt in den Hafen von Pola vorgelagerten Felsinseln (Scoglien).

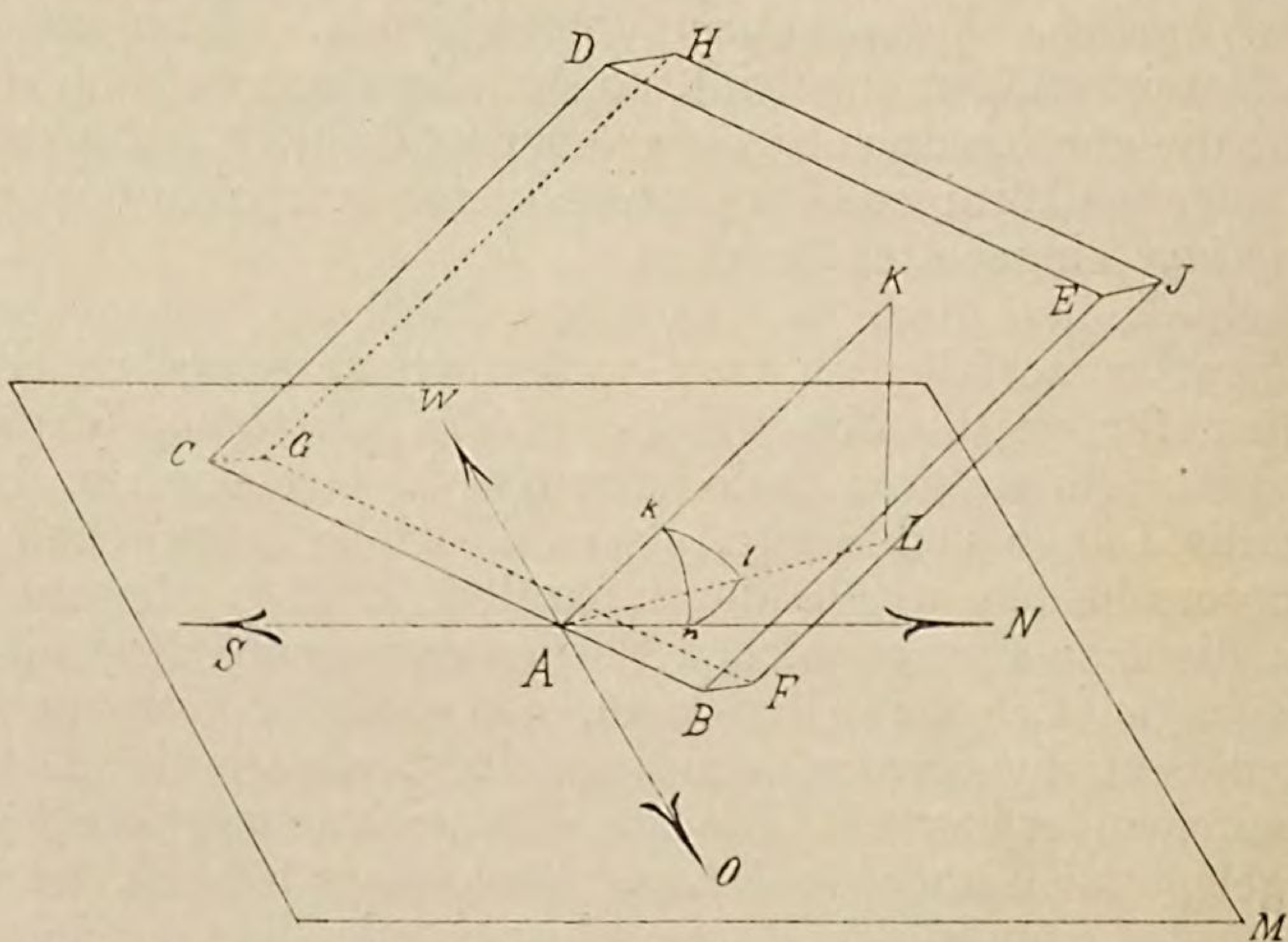
glaubte, *Flötzgebirge* genannt. Diesseits einer Trennungsfläche, einer *Schichtungskluft,* findet sich, gegen die Oberfläche zu gerechnet, das *Hangende,* jenseits derselben das *Liegende.* Das *Ausgehende* der Schichten ist nur ausnahmsweise sichtbar, indem Erde, Gerölle, Effusivgestein u. s. w. es meist verdeckt; gelingt es, die Schichten ihrer ganzen Mächtigkeit nach zu sehen, so sagt man, man habe die *Schichtköpfe* vor sich. In *Fig. 14* sind AA_1, BB_1, CC_1, DD_1 solche Schichtköpfe, nur hat die Schicht DD_1 das eigentümliche, dass sie nicht, wie die übrigen allenthalben nahezu die nämliche Mächtigkeit besitzt, sondern dass sie — gegen links hin — nach und nach schmäler wird. Es ist dies eine *auskeilende* Schicht.

Fig. 14.



Die Lage einer Schicht wird durch das sogenannte *Streichen* und *Fallen* bestimmt, Kunstausdrücke, mit deren Wesen uns *Fig. 15* bekannt macht.

Fig. 15.



$BCDEFGHI$ ist die als Parallelepipedum aufzufassende Schicht, deren Basisfläche $BCGF$ der Horizontalebene MN angehören möge. Für einen willkürlichen Punkt A der Linie BC denken wir uns die Nordsüdlinie NS und die Ostwestlinie OW gezogen; die Nordrichtung AN schliesst mit der Schnittlinie BC einen $\sphericalangle NAB = \sphericalangle CAS = 90^0 - \sphericalangle NAL$ ein, wo AL in A senkrecht zur Geraden BC in der Horizontalebene gezogen ward. Dieser Winkel NAB ist der *Streichwinkel.* Errichtet man ferner in A

ein zweites Lot auf BC, diesmal aber in der Ebene $BCDE$, so ist $\sphericalangle KAL$ der Fallwinkel der Schicht. Ein von K auf den Horizont gefälltes Lot KL hat seinen Fusspunkt L in der Geraden AL. Der Winkel ψ, welchen AK mit der Mittagslinie bildet, lässt sich leicht bestimmen; denkt man sich nämlich um A als Mittelpunkt mit der Einheit als Halbmesser eine Kugelfläche beschrieben, welche die drei Linien AK, AL, AN resp. in k, l, n schneidet, so ist in dem sphärischen Dreieck kln $\sphericalangle kln = 90^{0}$, Seite kl dem Fallwinkel α, Seite ln dem Komplemente des Streichwinkels β gleich; so wird ferner

$$\cos kn = \cos \psi = \cos kl \cos (90^{0} - ln) = \cos \alpha \sin \beta.$$

Ein leicht zu handhabendes Instrument, der *bergmännische Kompass*, gestattet im gegebenen Falle die rasche, wenn auch nicht sehr scharfe Bestimmung von α und β; der erstere Winkelwert kann auch mittelst des *Klinometers* ermittelt werden.

Von den phyto- und zoogenen Gesteinen wird späterhin in anderem Zusammenhange zu sprechen sein. Nur um die Begriffe jetzt schon zu fixieren, sei daran erinnert, dass die in mächtigen Lagern zum Aufbau der Erdkruste beitragende Kohle nichts anderes ist, als metamorphosierte Pflanzensubstanz, dass die Korallenbauten der unausgesetzten Thätigkeit kleiner, Kalk ausscheidender Polypen ihre Entstehung verdanken, dass endlich die weisse Schreibkreide, welche an manchen Küsten der Nord- und Ostsee mächtige Felsen bildet, aus den Gehäusen der winzigen Foraminiferen sich zusammensetzt. Auch bei solchen durch die Mitwirkung von Pflanzen und Tieren entstandenen Gesteinen wird übrigens Schichtung beobachtet.

Die Schichtenbildung kennzeichnet sich als eine bestimmte *Absonderungsform* im Inneren einer Gesteinsmasse; andere Absonderungsformen sind die *Schieferung* (*clivage*) (s. o.) und die *stengel-*, *griffel-* oder *säulenartige Absonderung*. Durch die erstere werden die Schichten in kleinere, wiederum durch Parallelflächen voneinander getrennte parallelepipedische Abteilungen geschieden. Dann, wenn diese Ebenen den eigentlichen Begrenzungsflächen der grösseren Schichten selbst parallel verlaufen, ist zwischen Schichtung und Schieferung schwer zu unterscheiden; sehr scharf spricht sich dagegen dieser Gegensatz aus in dem gewöhnlich vorkommenden Falle, *wenn Schichtungs- und Schieferungsflächen einen von Null erheblich abweichenden Winkel einschliessen*. Man bezeichnet nach *Naumann* diese Erscheinung wohl auch als *diskordante Parallelstruktur*; *Fig. 16* führt uns einen Fall derselben vor, wie ihn *v. Fritsch* im Nebraer Buntsandstein konstatiert hat. Die *quader-* und *plattenförmige Absonderung* kommt sowohl bei geschichteten, als auch ganz besonders bei *massigen* Gesteinen vor. In runde oder prismatische Säulen von namhafter Longitudinalausdehnung zerfällt einzig und allein plutonisch-vulkanisches Gestein; die Achsenrichtung dieser Säulen ist eine zur Ab-

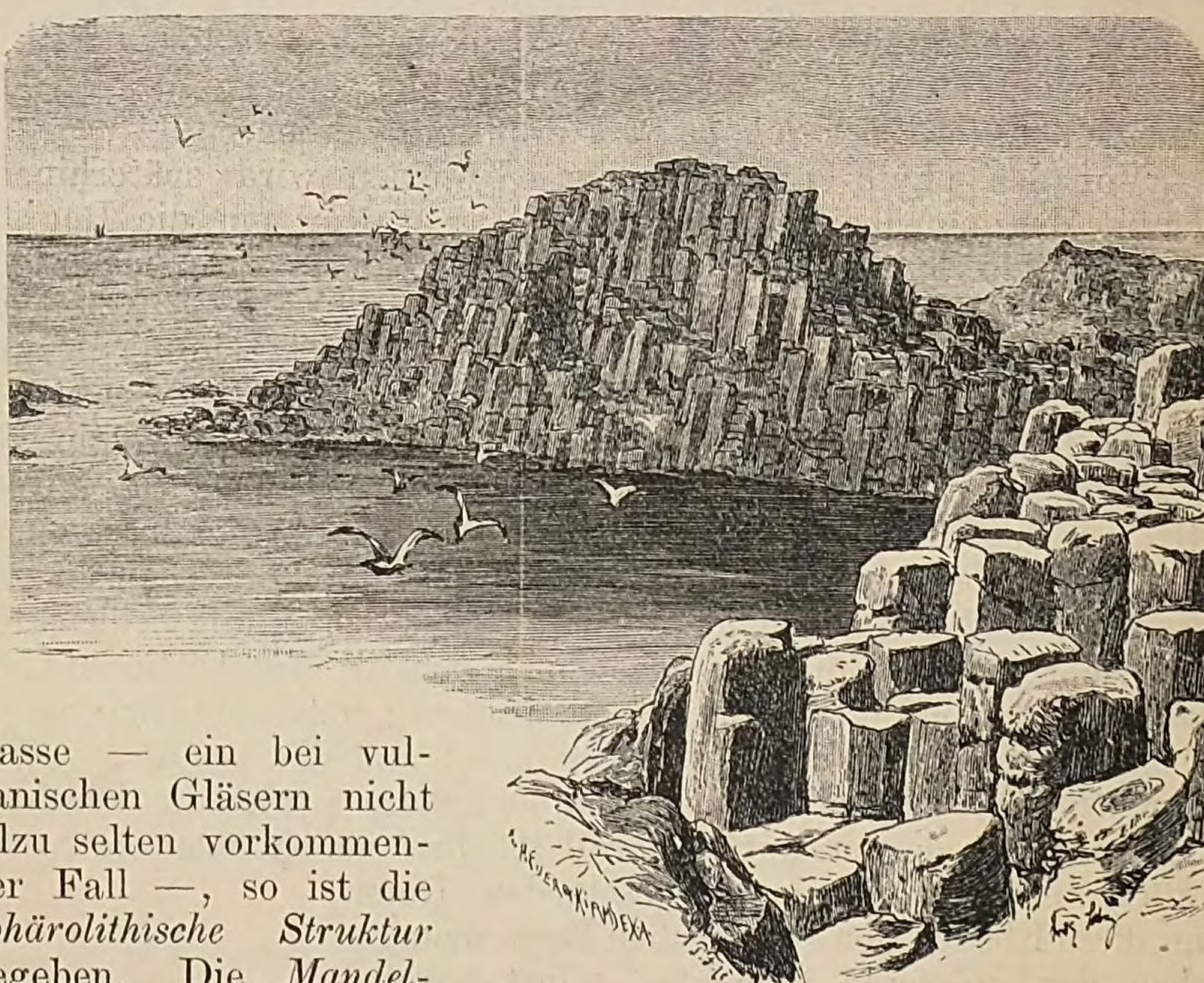
Fig. 16.



kühlungsoberfläche senkrechte. Bekannt sind in dieser Hinsicht namentlich die *Säulenbasalte*, von welchen uns *Fig. 17* diejenigen der Insel Staffa (Westschottland) als ein besonders ausgezeichnetes Beispiel vor Augen stellt.

Bei solchen Felsen, welche aus feurigem Glutflusse erstarrt sind, ergeben sich gelegentlich auch besondere *Strukturvarietäten*, welche für den Geologen Interesse bieten können. Aus Granit, Diorit u. s. w. scheiden sich, wie dies zuerst *A. v. Humboldt* in Südamerika vielfach beobachtete, Steinstücke in abgerundeter Form aus (*Sphäroidalstruktur*). Liegen kleinere Kugeln in einer Grund-

Fig. 17.



masse — ein bei vulkanischen Gläsern nicht allzu selten vorkommender Fall —, so ist die *sphärolithische Struktur* gegeben. Die *Mandelsteinstruktur* zeigen häufig vulkanische Gesteine: in ihrer Masse haben sich Hohlräume gebildet, sogenannte *Blasenräume*[1]), die durch Mineralien von einer anderen Beschaffenheit ausgefüllt sind.

Auch sedimentäres Gestein weist ab und zu ähnliche Anomalien auf. Dahin gehört die *oolithische Struktur*; Kalkmassen sind aus kleinen, rundlichen, den Fischeiern ähnlichen Körnern zusammengesetzt. Der vorigen nahe verwandt, nur hinsichtlich des die Körnchen verbindenden kalkigen Kittes von ihr verschieden ist die *piso-*

[1]) Man kann die blasige Struktur gut verfolgen an den bekannten *Schlacken*, Steinbrocken, welche kleine Mengen Erz in sich enthielten und diese durch den Prozess der Ausschmelzung verloren haben. Die Hohlräume sind alsdann deutlich erkennbar.

lithische oder *Erbsensteinstruktur*, deren bekanntester Repräsentant der schöne, zur Anfertigung von Schmucksachen vorzüglich geeignete *Karlsbader Sprudelstein* ist.

Als *Konkretionen* oder *Geoden* bezeichnet der Geognost knollige, oft von einer ziemlich unregelmässigen Oberfläche begrenzte Gebilde, welche in allen möglichen Gesteinsarten vorkommen und vom Unkundigen sehr leicht mit wirklichen Versteinerungen verwechselt werden.

Die gebirgsbildenden Gesteine. Als wir oben die wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien aufzählten, erwähnten wir, dass mitunter dieselben als eigentliche *Gebirgsbildner* auftreten; es gibt also Felsen, welche homogen sind, nur aus einem einzigen Minerale bestehen. Die Regel jedoch ist dies nicht, vielmehr lassen sich in den hauptsächlichsten *Felsarten* verschiedene mineralische Grundbestandteile nachweisen, welche nicht *chemisch*, sondern *rein äusserlich* zu einem Ganzen verbunden sind. Die physikalische Geographie hat die Kenntnis der Felsarten bei allen Untersuchungen, welche sich auf den Bau der Erdrinde und die in dieser vor sich gegangenen Umwälzungen beziehen, zur notwendigen Voraussetzung, und wir haben von jenen deshalb ebenso, wie von den fundamentalen Mineralien, eine Uebersicht zu geben; ebenso aber auch, wie dort, kann unsere Zusammenstellung keine auch nur angenähert vollständige sein. Der *akzessorischen Bestandteile* [1]) wird nur ausnahmsweise gedacht [2]).

1. *Granit*, von *Guettard* aus einer italienischen Volksbezeichnung zum geologischen Terminus erhoben, bedeutet ein körniges Gemenge von Feldspat, Quarz und Glimmer. Der Granit bildet meist stockförmige Gebirgsmassen; in Gängen kommt er seltener vor. Der Feldspat der Gesteinsart verwittert leicht zu Thon; andererseits entstehen im Granit auch mit Vorliebe die *Felsmeere*, Ansammlungen von wild durcheinander liegenden, oft abenteuerlich geformten Steinblöcken (Luisenburg bei Wunsiedel).

2. *Gneis* (in älteren Schriften *Gneus* geschrieben) hat wesentlich dieselbe Zusammensetzung, wie Granit, lässt aber der massigen Struktur des letzteren gegenüber deutlich eine Parallelschichtung erkennen. Statt des Glimmers bemerkt man wohl auch Granat, Turmalin u. dergl. Uebergänge zwischen Granit und Gneis kann man in vielen Gebirgen beobachten.

3. *Granulit*, ein dem vorigen sehr ähnliches, schiefrig geschichtetes Gestein, gekennzeichnet durch die Beimengung von Granaten.

[1]) Mit obigem Namen kennzeichnet man Mineralien, die zur Charakterisierung eines bestimmten Gesteines nicht eben notwendig sind, jedoch in kleinen, oft nur mikroskopischen Mengen fast regelmässig schon in grösseren Handstücken sich nachweisen lassen.

[2]) Massgebend ist für unsere Synopsis die selbstredend ungleich umfänglichere und den wissenschaftlich-lithologischen Standpunkt scharf betonende Zusammenstellung gewesen, welche *v. Fritsch* (Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888, S. 163 ff.) gegeben hat.

4. *Hälleflinta*, nach *Linné* eine meist gebänderte, in mikroskopischer Ausbildung der Gemengteile dichte Steinart, deren Zusammensetzung wesentlich die des Granites ist. Der Ausdruck *Felsit* deckt sich nahezu mit Hälleflinta.

5. *Quarzporphyr*. Hier sind Feldspäte und Quarz durch die uns von oben (S. 67) bekannte porphyrische Struktur, die von der körnigen des Granites augenfällig abweicht, miteinander verbunden. Sphärolithische Bildungen (S. 70) sind als akzessorische Bestandteile nicht selten. Durch Kaolinisierung (Verthonung) zerfallen Quarzporphyrfelsen leicht in Bruchstücke und Steingrus. Die von den Petrographen unterschiedenen Varietäten dieses Gesteines sind überaus zahlreich; die bemerkenswerteste ist wohl die *hyaline* oder *glasartige* Modifikation desselben, welche auf der Insel Arran eine gewaltige Entfaltung zeigt.

6. *Rhyolith* oder *Liparit* [1]), ein Quarzporphyr, in dem der gewöhnliche Feldspat durch seine glasige Abart Sanidin (S. 64) ersetzt erscheint. Verwandt sind *Obsidian* und *Bimsstein* (s. u. S. 146).

7. *Syenit* [2]) oder *Grünstein* (bei *Humboldt*), ein krystallinisches Gemenge von Orthoklas (auch etwas Plagioklas) und Hornblende (seltener Augit). Tritt noch ausserdem in grösserer Menge die fettglänzende Spielart des Nephelins hinzu, so erhält man das als *Eläolith-Syenit* bekannte Gestein.

8. *Trachyt* (von τραχύς, rauh) nennt man eine glasige Grundmasse, worin nebst Feldspäten zumal Sanidin, Hornblende, Augit und akzessorisch Glimmer sich erkennen lassen. Trachyt kommt ebensowohl in Gängen und Stöcken, wie auch in glocken-, mantel-, deckenförmigen Ergüssen vor.

9. *Andesit*, durch Plagioklasgehalt vom Trachyt unterschieden, in den Kordilleren Südamerikas massig anstehend, auch in Mexiko überaus häufig. Man trennt den *Hornblendeandesit* vom *Augit-* oder *Pyroxenandesit*.

10. *Phonolith* oder *Klingstein*, eine dichte, massige Gesteinsart, deren Grundmasse wesentlich Sanidin und Nephelin ausmachen, und die sehr leicht in dünne, beim Anschlagen einen hellen Ton von sich gebende Platten spalten lässt. Die merkwürdigen isolierten Erhebungen im Höhgau (Hohentwiel, Hohenstoffeln, Hohenkrähen) sind als Phonolithbauten zu betrachten.

11. *Diorit*, nach *Haüy* eine Mengung von Plagioklas und Hornblende. Die erstere Substanz erscheint recht häufig metamorphosiert, verwittert; Quarz tritt akzessorisch auf. Geographisch signalisiert den Diorit in vielen Fällen sein Aufragen in Gestalt kleiner Felsklippen. Der sogenannte *schwarze Porphyr* ist eine Varietät des Diorites. Wesentlich gleiche Zusammensetzung weist der *Melaphyr* (S. 67) auf; ihm eignet wohl am meisten von allen Gesteinen die uns bekannte Mandelsteinstruktur (S. 70).

[1]) Von den Liparischen Inseln zwischen Sizilien und Unteritalien.

[2]) Als Namengeber diente die Stadt Syene (Assuan) in Oberägypten; sonderbarerweise aber besteht das dortige Nilgebirge aus echtem Granit und keineswegs aus Syenit.

12. *Diabas* (Grünstein im modernen Sinne), ein etwas unbestimmter Ausdruck für Gemenge von Feldspat und Hornblende oder Augit. Heutzutage wendet man denselben am liebsten dann an, wenn der Augit in Chlorit, Epidot u. s. w. sich verwandelt hat. In porphyrischer Ausbildung wird der Diabasporphyrit zum Melaphyr. Ebenso bestehen mannigfaltige Uebergänge zwischen dem Diabas und dem durch *L. v. Buch* in die Gesteinskunde eingeführten

13. *Gabbro* oder *Euphotid*. Diallag, die hellschillernde Augit-Varietät (S. 65) gestattet verhältnismässig leicht die Identifizierung einer Verbindung von Erebenniten (S. 65), Plagioklasen und vielfach auch Olivin als Gabbro.

14. *Dolerit*, aus Augit — eventuell auch Hornblende —, Magneteisen, Apatit und triklinem Feldspat bestehend, mit körniger Struktur, massig oder säulenförmig, seltener effusiv auftretend.

15. *Basalt* [1]), vulkanisches Massengestein, das in der Natur überaus verbreitet ist; Augit wiegt in ihm vor; Plagioklas, Olivin, Eisenbestandteile sind mit ersterem vergesellschaftet. Von seiner Neigung zur Säulenbildung war bereits (S. 70) die Sprache.

16. *Leuzitophyr*, eine vulkanische, am Vesuv zuerst näher studierte Lava, worin neben Augit und Magneteisen der Leuzit (S. 64) am meisten vorwaltet. Im *Nephelinfels* erscheint Leuzit durch Nephelin ersetzt.

17. *Serpentin*, s. S. 65; ebenda auch *Olivin*. Beide Gesteine, die in der Färbung sich sehr ähneln, stehen sich auch sonst sehr nahe; Olivin metamorphosiert gerne in Serpentin. Hier haben wir also einen Fall der Uebereinstimmung von Felsart und gesteinsbildendem Minerale; doch fehlt es in den als Serpentin bezeichneten Gesteinen nie an akzessorischen Bestandteilen, wie Granat, Diallag u. dergl. Das Wort *Ophit* wird von den älteren Schriftstellern, wie ja auch die Etymologie andeutet [2]), gar oft synonym mit Serpentin verwendet; heute bezeichnet er speziell das Diabasgestein der Pyrenäen.

18. *Eklogit*, grüne Hornblende- und Augitblättchen, verbunden mit Granaten.

19. *Glimmerschiefer*, ein schiefriges, hauptsächlich aus Glimmerblättern (S. 65) bestehendes Gestein, dem Quarzplatten häufig, andere Silikate wenigstens nicht selten beigemengt sind. Je nachdem eine bestimmte Abart des Glimmers den Ton angibt, spricht man von *Biotitschiefer*, *Muskowitschiefer* u. s. w.

20. *Phyllit* oder *Urthonschiefer*, vom gewöhnlichen Glimmerschiefer oft schwer zu unterscheiden; doch fehlen eigentliche Schüppchen, und es gewährt ein eigenartiger, seidenartiger Schimmer der dünnen Blätter, in welchen das lediglich geschieferte Gestein bricht, hierzu immerhin einen guten Anhaltspunkt. Ist solcher Schimmer nicht vorhanden, so hat man es zu thun mit gewöhnlichem

[1]) Ob der Basalt wirklich mit einem von den Alten als *Basanites* bezeichneten, dem Ostjordanlande eigentümlichen Steine einerlei ist, muss dahingestellt bleiben.

[2]) *Serpens* = ὄφις = Schlange (nach der farbig gefleckten Haut vieler solcher Reptilien).

21. *Thonschiefer*, der durch verschiedenartige Uebergänge mit anderen Gesteinen verknüpft ist. Nicht verwechselt darf mit Thonschiefer werden

22. *Schieferthon*, ein grau-schwärzliches Gestein, das sich schon durch seinen starken Thongeruch als solcher zu erkennen gibt; transversale Schieferung fehlt gänzlich.

23. *Thonstein*, eine in dicken Platten brechende, weiss, grau oder rot gefärbte Gesteinsart, die sich, zu den Sedimentbildungen gehörig, für den äusseren Anschein als eine einheitliche Masse darstellt. Das Mikroskop weist grosse Quantitäten zersplitterter Feldspatkryställchen nach. Der Thonstein ist von Hause aus eruptiver und nicht sedimentärer Fels.

24. *Mergel*, seit dem alten Mineralogen *Agricola* die Bezeichnung für weiche, mitunter plastische Massen, Kalke mit starker Thonbeimengung. Härtere nach Platten spaltbare Mergel heissen *Mergelschiefer;* in diese Kategorie gehört u. a. der durch seine (Perm-)Versteinerungen ausgezeichnete *Kupferschiefer* von Eisleben. Verwendung zur Zementbereitung.

25. *Thon* ist eine teilweise plastische, im reinen Zustande unschmelzbare Kaolinitansammlung, die der abwechslungsreichsten technischen Anwendungen fähig ist. Der Thon tritt gewöhnlich geschichtet auf; er ist für Wasser fast undurchdringlich und bildet deshalb oftmals die undurchdringliche Schicht, auf welcher sich das Grundwasser bewegt. Färbung mit Eisenhydroxyd lässt aus Thon den wohlbekannten *Lehm* werden. Vom Thon trennt die Geologie den bröckligen, weit minder plastischen *Löss*, der, wie sich zeigen wird, auf recht weit von einander abweichende Weisen entstehen kann. Im Löss begegnet man regelmässig Konkretionen von oft phantastischer Form (*Lössmännchen* oder *Lösskindel*).

26. *Quarzit*, ein hartes, schwer verwitterndes und aus diesem Grunde für Pflanzenbau wenig geeignetes Gestein, in welchem der Quarz (S. 64) vorwiegt; Quarzitblöcke in isolierter Lage führen den Namen *Knollensteine*. Aehnliche Konkretionen bildet der übrigens auch mitunter in mächtigen Bänken auftretende, aus Quarz und Chalcedon bestehende *Hornstein* (S. 64).

27. *Grauwacke* ist ein Kollektivname für sehr altes Sedimentärgestein, worin sich Körner und Splitter von Quarz, Thonschiefer und verschiedenen Silikaten erkennen lassen.

28. *Sandstein* nannte schon *Agricola* ein durch Bindemittel von teils krystallinischer, teils erdiger Natur zusammengehaltenes Aggregat von Quarz-, Feldspat-, Glimmer- und anderen mineralischen Partikeln. Fehlt das Bindemittel, so haben wir es statt mit Sandstein bloss mit Anhäufungen von *Quarzsand* zu thun. Solcher tritt in der Nähe von Gewässern als ein mit Wasser stark durchfeuchteter *Triebsand*, in Steppen und Wüsten als *Flugsand* auf.

29. *Kieselsinter*. Kieselhaltige Quellen setzen Sedimente ab, deren Hauptbestandteil Opal ist, und in denen sich gewöhnlich Fremdkörper im Zustande der sogenannten *Inkrustation* vorfinden.

Erdige Opalmassen sind der *Tripel*, der *Polierschiefer* und der *Kieselguhr*[1]).

30. *Kalkstein*, eine ebenfalls auf *Agricola* zurückzuführende Sammelbezeichnung für Gesteine, deren vornehmsten Bestandteil der *Kalkspat* bildet. Je nach den sonst noch erkennbaren Beimengungen unterscheidet man von den reinen Kalksteinen den quarzhaltigen *Grobkalk*, den bituminöse Stoffe enthaltenden *Kohlenkalk*. Vom *Dolomit* ist oben (S. 66) das Notwendige beigebracht worden. Zwischen Dolomit und eigentlichem Kalk gibt es eine Menge von Uebergängen. Aeusserlich unterscheidet sich Dolomitgebirge von gewöhnlichem Kalkgebirge wenig, denn die populäre Ansicht, dass ersteres schroffer, ausgezackter, überhaupt von mehr pittoreskem Aussehen sei, widerlegt sich einfach durch den Hinweis darauf, dass gerade die ihrer abenteuerlichen Form halber am meisten bewunderten „Dolomiten" diese Benennung mit Unrecht tragen[2]).

31. *Galmei*, weissliche Zinkerze, die in Kalkstein oder Dolomit eingebettet liegen[3]).

32. *Eisenstein* wird als *Spat-*, *Braun-*, *Rot-*, *Magneteisenstein* unterschieden, je nachdem Eisenspat, Eisenerz von verschiedener Färbung oder Magnetit tonangebend in der Mischung ist[4]).

33. *Gips*, *Anhydrit* und *Steinsalz* sind bereits bei den gesteinsbildenden Mineralien (S. 66) ausreichend charakterisiert worden.

34. *Phosphorit* und *Guano*. Mit ersterem Namen belegt man den dichten Apatit, der oft mit Kalkstein oder Dolomit vermengt ist. Chemisch und mineralogisch dem Phosphorit ähnlich verhalten sich die an verschiedenen Stellen der Erde, ganz besonders jedoch auf den kleinen Inseln westlich von der peruanischen Küste im Stillen Meere aufgehäuften tierischen Exkremente, die dort dem Boden in solcher Fülle aufgelagert sind, dass sie mit ganzem Rechte als eine besondere geognostische Formation aufgefasst werden dürfen und zu technischen Zwecken vollkommen bergmännisch abgebaut werden müssen. Phosphate von *Kalzium*, *Magnesium* und *Ammonium* bilden in Verbindung mit Thon und allerlei Salzen den für die Agrikultur unersetzlichen Vogelguano.

35. *Kohle* und *Torf*. Wenn Pflanzenfaser unter Wasser langsam verbrennt, d. h. verwest, so bilden sich, je nach der Zeit,

[1]) Wird solcher aus Kieselskeletten von Diatomeen bestehender Kieselguhr, der etwas uneigentlich auch *Infusorienerde* benannt wird, mit dem flüssigen *Nitroglycerin* vermengt, so entsteht der wegen seiner Sprengwirkung ebensosehr geschätzte wie gefürchtete *Dynamit*.

[2]) So sind z. B. die angeblichen Dolomiten von Ampezzo, Buchenstein, Lienz, Auronzo, Primiero u. s. w. gewöhnliche Kalkberge, während stark magnesiareicher Kalk resp. echter Dolomit allerdings vom Schlern, Rosengarten, Lattemar, den Geislerspitzen den Hauptbestandteil bildet.

[3]) Ausgedehnte Galmeilager besitzt z. B. das neutrale Territorium *Moresnet-Altenberg* an der belgisch-rheinpreussischen Grenze.

[4]) Unterarten des Brauneisensteines sind *Bohnerz* und *Raseneisenstein*. Letzterer stellt für einen grossen Teil des Königreiches der Niederlande das einzige dortselbst auffindbare Nutzmineral vor.

welche der *Verkohlungsprozess* in Anspruch nahm, die verschiedenen Mitglieder der Gruppe der *Kohlengesteine* heraus.

a) Der *Torf* ist ein poröses Aggregat von allen möglichen Pflanzenstoffen, die von Kohlenwasserstoffverbindungen durchtränkt sind. Man erblickt eine bräunliche, verfilzte Masse, deren pflanzlicher Ursprung jedoch unschwer zu erkennen ist. *Pechtorf, Specktorf, Fasertorf, Moostorf, Rasentorf, Holztorf* sind die durch diese ihre Beziehungen ihr Wesen kundgebenden Spezialitäten des Torfes. Derselbe hat häufig ein geringeres spezifisches Gewicht, als das ihn umhüllende Wasser; er vermag auf dessen Oberfläche deshalb unter Umständen zu schwimmen. Hiermit hängt die verbreitete Sage von den *schwimmenden Inseln* zusammen [1]).

b) Ist der Vermoderungsprozess weiter fortgeschritten, so hat man es mit *Braunkohle* zu thun, welche 44—57 % reinen Kohlenstoff enthält. Die technisch schlechteste, nur geringe Brennkraft enthaltende Abart der Braunkohle ist der *Lignit* [2]), bei dessen Bildung vornehmlich Nadelhölzer mitgewirkt haben. Besser ist die pechschwarze *Pechkohle,* und auch die in den Vorhügeln der bayerischen Kalkalpen abgebaute Kohle gehört zu den brauchbaren Varietäten.

c) Wieder erheblich weiter vom pflanzlichen Urzustande entfernt erweist sich die *Schwarz-* oder *echte Steinkohle*, die in mächtigen Schichten an der Gebirgsbildung teilzunehmen pflegt. Hier finden sich bereits 57—85 % reiner Kohlenstoff, doch kann man die Nervatur der verwesten Pflanzen gleichwohl noch recht oft am umgebenden Gesteine wahrnehmen. An *Kohlenflötzen* ist kein Mangel auf der Erde [3]). Der Schwarzkohle sehr nahe steht der *Gagat* oder *schwarze Bernstein,* der in Süddeutschland aufgefunden und zu Schmuckgegenständen verarbeitet wird.

d) Am weitesten unter den eigentlichen Kohlengesteinen ist der Mineralisierungsprozess vorgeschritten beim *Anthrazit*, der nur bei starkem Luftzuge ohne Flamme und Rauch verbrennt und die stärksten Wärmewirkungen liefert, wie er denn auch bis zu 96 % reinen Kohlenstoff aufweist.

e) Nicht unwahrscheinlich ist auch der uns von früher her bekannte *Graphit* (S. 63) umgewandelte Pflanzensubstanz. Graphit ist nichts anderes, als fester reiner Kohlenstoff; der Vorgang der

[1]) Ein gewisser *Munz* gab 1711 zu Altdorf eine *„Exercitatio academica de insulis natantibus"* heraus. Auf dem Hautsee in Thüringen, auf einem kleinen See bei Gerdauen in Ostpreussen sieht man in der That ausgedehnte Torfplatten schwimmend umhertreiben; auch Erdpech (s. u.) kann solche schwimmende Inseln liefern (Totes Meer).

[2]) Durch starke Wärmezuführung kann Lignit in wirkliche Steinkohle übergehen; Beweis dafür eine von der geologischen Reichsanstalt in Wien verwahrte Lignittafel, die durch Durchbruch eines plutonischen Gesteines die erwähnte Umformung erfahren hat.

[3]) Die europäischen Kohlenfelder gehen, wiewohl sehr langsam, ihrer Erschöpfung entgegen, dafür aber bieten das total von Kohle „unterteufte" Mississippibecken und China reichen Ersatz. Letzteres Land besitzt auch im Ueberflusse den wertvollen Anthrazit.

Verkohlung hätte mit ihm also seinen endgültigen Abschluss gefunden.

36. *Bitumenbildungen.* Mit dem Worte *Bitumen* kennzeichnet man allgemein Kohlenwasserstoffverbindungen verschiedenster Art; es kommt also auch in sämtlichen Kohlengesteinen, einzig den Anthrazit ausgenommen, Bitumen vor. Allein es gibt auch anderweite bituminöse Bildungen, welche man den Kohlen nicht direkt beizählen kann [1]).

a) *Asphalt*, auch *Erd-* oder *Judenpech* genannt, ist eine schwarze, fettglänzende Masse, mit der sich, meist in jüngeren Schichten, zelliges und poröses Gestein imprägniert zeigt [2]).

b) *Bergwachs* oder *Ozokerit,* wesentlich nur durch seine Weichheit und auch durch die — gelbgrünliche — Farbe von Asphalt unterschieden.

c) *Naphtha* oder *Erdöl* (*Steinöl*, *Petroleum*), eine flüssige, gelbe Masse, die manchenorts, wie etwa auf der Halbinsel Abscheron am Kaspischen Meere, ohne Beihilfe des Menschen in mächtigen Springquellen zu Tage tritt, meistenteils aber bergmännisch erbohrt werden muss (Pennsylvanien, Peine bei Hannover). Neuere Forschungen von *H. Höfer* und *Engler* lassen es so gut als gewiss erscheinen, dass das Erdöl animalischen Ursprunges ist, den verwesten Resten untergegangener (mariner) Tiere seine Entstehung verdankt. Die von *Höfer* hierfür rekonstruierten geologischen Vorgänge hat der genannte Chemiker im Laboratorium nachzubilden vermocht. Das den Gerichtsärzten von menschlichen Begräbnisstätten her wohlbekannte *Leichenwachs* hat die Sedimentgesteine durchtränkt, und diese Gesteinslagen hat man als den eigentlichen Sitz der Erdölbildung anzusehen.

37. *Fossile Harze.* Verschiedene Bäume, deren Lebenszeit in frühere Perioden der Erdgeschichte fiel, haben damals Harz ausgeschwitzt, welches jetzt in fossilem Zustande ausgegraben wird. Schichtenbildend hat sich nur das Harz gewisser fichtenähnlicher Bäume der (s. u.) früheren Tertiärzeit erwiesen, der sogenannte *Bernstein* (das ἤλεκτρον der Alten). Man findet solch glänzend-durchsichtiges Harz auch auf der Apenninischen Halbinsel und in Sizilien; doch massenhaft und die Ausbeute lohnend sind allein die ostpreussischen Bernsteinablagerungen. Ein Handelshaus, welches von der preussischen Regierung das Bernsteinregal pachtweise an sich gebracht hat, lässt die Gewinnung des kostbaren Artikels sowohl durch Ausbaggerung als auch durch wirklichen Schacht-Abbau betreiben. Die als *blaue Erde* bezeichnete Mergelschicht birgt die besten Stücke in sich. —

Hiermit können wir unsere Aufzählung und Beschreibung der Felsbildner für beendigt erklären. Indessen wird es sich empfehlen,

[1]) Am meisten noch die *Stinkkohle (Dysodil)*, in der sich nach *Harz* selbst die feinsten Blattbestandteile noch erhalten haben.

[2]) Auf der Antilleninsel Trinidad tritt uns Asphalt in mächtigen Lagen als wirklicher Felsbildner entgegen.

ehe wir zur Schichtlehre selbst übergehen, zuvor noch gewisse Kunstausdrücke der Geologie zu erklären, welche sich auf wie immer beschaffene *heterogene Gesteinsanhäufungen* beziehen. Zwar kann die hier gemeinte Terminologie noch als keine vollkommen bestimmte gelten, doch besteht wenigstens hinsichtlich der im folgenden zu gebenden Begriffsbestimmungen ziemliche Einheitlichkeit.

A. *Gerölle* sind Anhäufungen von ursprünglich polyedrischen, jedoch unter dem Einflusse gegenseitiger Reibung abgerundeten Trümmern verschiedener Gesteine; die Grösse der Gesteinsbrocken kann die denkbarst verschiedene sein. Statt Gerölle sagt man namentlich dann, wenn Wasser oder Eis den Transport der Steine besorgt haben, *Geschiebe*. Ein verbindender Kitt ist nicht vorhanden, ebensowenig wie bei

B. *Schottermassen* (*Gebirgsschutt*). Dieselben bestehen, zum Unterschiede von den Geröllen, meist oder vorwiegend aus Trümmermaterial der nämlichen Gesteinsart. *Schuttkegel* lassen eine stockförmige, *Bergsturzhalden* eine stromförmige Anordnung der Partikeln erkennen.

Wenn andererseits ein Bindemittel die Fragmente zu einer mehr oder weniger kompakten Masse vereinigt, so können wir noch vier Möglichkeiten auseinander halten.

C. *Geschiebelehm* (*Blocklehm*, *Till*, *Geschiebemergel*). Hier ist der verbindende plastische Lehm, soweit das Volumen in Frage kommt, die Hauptsache; in ihn sind die Trümmerstücke in meist ganz willkürlicher Lagerung eingebettet. Doch kann von einer Verkittung der Bestandteile im engeren Sinne noch nicht die Rede sein, und ohne besondere Kraftanstrengung nimmt die Hand aus der Masse einzelne Steine heraus. Wird das Bindemittel fester, so pricht man von

D. *Konglomerat*. In spättertiären und diluvialen Konglomeraten ist die durch einen schmutziggrau gefärbten Kalksinter bewirkte Zementierung eine so feste geworden, dass die Masse, *Nagelfluh* genannt, sich wie homogenes Gestein vom Steinhauer bearbeiten lässt. Im nördlichen Alpenvorlande sind stattliche Hügel aus Nagelfluh keine Seltenheit (Mönchsberg bei Salzburg). Wesentlich dadurch, dass die eingeschlossenen Gesteinsfragmente polyedrisch und scharfkantig sind, unterscheidet sich vom Konglomerate die

E. *Breccie*. Dann, wenn Feldspatgestein die Verkittung besorgt, ist zwischen beiden Begriffen der Unterschied einigermassen verwischt. Als *Knochenbreccie* bezeichnet man tierische, versteinerte Ueberreste, um welche sich eine gemeinsame Hülle herumlegt; der Engländer hat dafür den markanten Ausdruck „*Bone-Bed*“ (*Gebeinbett*).

F. *Tuffe*. Von diesen Gesteinsarten zu sprechen, behalten wir uns bis zur Erörterung der vulkanischen Auswürflinge im siebenten Abschnitte vor.

Geologische Altersbestimmung. Eine *absolute Altersbestimmung*, d. h. eine selbst mit einem Spielraume von Jahrmyriaden

zutreffende Angabe des Zeitpunktes, zu welchem sich ein bestimmter Fels, eine gewisse Region der Erdrinde gebildet haben, ist nicht nur nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft unthunlich, sondern wird dies allem Vermuten nach für alle Zukunft bleiben. Dem gegenüber ist auch zu betonen, dass, zumal für die physikalische Erdkunde, lediglich die *relative Altersbestimmung* von Wichtigkeit ist; hat man von irgend einem Gebirge zwei bestimmte Teile *A* und *B* ausgeschieden, so will man wissen, ob *A* vor oder nach *B* oder allenfalls auch gleichzeitig mit *B* entstanden ist. Auf diese Frage aber ist die Geologie auch schon jetzt in sehr vielen Fällen eine befriedigende Antwort zu erteilen in der Lage. Während der *Geognosie* die Pflicht zufiel, über die Materialien, aus denen sich Erdrinde, Erdboden und Erdgebirge zusammensetzen, zu orientieren, beschäftigt sich die *Stratigraphie* [1]) oder *historische Geologie* eben damit, das relative Alter der an einem gegebenen Orte befindlichen Gesteinsbildungen auszumitteln.

Schon seit *Steno* [2]), dem eigentlichen Vater einer wissenschaftlichen Schichtenlehre, hat man solche Altersbestimmungen zu machen versucht. An einer Erdstelle, welche niemals namhaften Umwälzungen ausgesetzt war, gestaltet sich die Sache ziemlich einfach, und so haben denn im deutschen Mittelgebirge bereits im vorigen Jahrhundert *Füchsel, J. G. Lehmann* und *A. Werner* eine Reihe wohlbegründeter, von der Nachwelt bestätigter Entdeckungen gemacht. Der leitende Grundsatz ist dieser: *Das höher, vom Erdmittelpunkte entfernter liegende Gestein ist das jüngere, das tiefer liegende das ältere.* Mit dieser Regel hat es nun aber sofort ein Ende, wenn die im nächsten Abschnitte einlässlich zu schildernden Metamorphosen über den Fels hinweggegangen sind, denn alsdann würden sich die unmöglichsten Konsequenzen ergeben. Ein Beispiel, zu dessen Verständnis allerdings bei gewissen Darlegungen dieses und des nächsten Abschnittes eine Anleihe gemacht werden muss, mag dies erläutern. Man hat herausgebracht, dass in der Kreideformation drei Hauptschichten, die wir vorläufig als obere (jüngere), mittlere und untere (ältere) Kreide unterscheiden wollen, bankartig sich überdecken, wenn der Normalzustand der Schichtung nicht gestört worden ist. Der folgende Abschnitt (S. 116) lehrt uns nun aber einen Berg der Schweiz kennen, der, von seiner alleroberstenSpitze abgesehen, in seiner oberen Partie wesentlich aus Kreide besteht. Wenn wir uns nun von der Spitze aus einen Erdradius gezogen denken, so durchdringt derselbe, von oben nach unten zu gerechnet, folgeweise die nachstehend bezeichneten Ablagerungen: obere, untere, mittlere, untere, obere, untere, mittlere, untere Kreide. Diese Aufeinanderfolge erscheint, sobald man sich der obigen hodegetischen Norm erinnert, sinnlos und unerklärlich; sie beweist, dass die Regel

[1]) *Stratum* = Schicht.

[2]) Der Däne *Stensen*, der sich während seines italienischen Aufenthaltes *Stenone* nennen liess, hat die Grundzüge der Stratigraphie, wie sein Biograph *Plenkers* darthat, mit musterhafter Klarheit vorgetragen.

nur unter ganz eingeschränkten Voraussetzungen Giltigkeit beanspruchen kann:

Nur dann, wenn die Schichten ungestört, wie die Blätter eines geschlossenen Buches, aufeinander liegen, kann die Altersbestimmung einer Schicht durch einfache Beachtung ihrer Lage, ihres Vertikalabstandes von einer ein für allemal fixierten Horizontalfläche erfolgen.

In der grossen Mehrzahl der Fälle ist die obige Bedingung nicht erfüllt. Man suchte demgemäss nach anderen Hilfsmitteln, und die *Werner*sche Schule meinte solche auch vermittelst petrographischer Kennzeichen gefunden zu haben. Dies erwies sich jedoch als ein Irrtum. In allen Schichten jedes beliebigen Alters gibt es Kalk-, Sand-, Mergelgestein; nicht minder existieren ebensowohl altvulkanische als jungvulkanische Gesteine. Man müsste also auf die Lösung der gestellten Aufgabe völlig verzichten, wenn nicht die Natur durch die im Gesteine eingeschlossenen *organischen Ueberreste* dafür gesorgt hätte, die so schwierige Orientierung zu ermöglichen. Die Stratigraphie hat somit die *Versteinerungskunde* oder *Paläontologie* zu ihrer notwendigen Voraussetzung.

Plutonische allerdings und vulkanische Gesteine entbehren solcher organischer Einschlüsse total [1]), sie sind, wie man zu sagen pflegt, *azoisch* [2]). Im Schichtgestein hingegen fehlt es niemals ganz an solchen *Fossilien* oder *Petrefakten*, wiewohl man auch bei ihm *versteinerungsarme* und *versteinerungsreiche* Lagen — man denke an das über die Knochenbreccie Gesagte — zu unterscheiden hat. Dasjenige, was man im gewöhnlichen Leben und der Kürze halber wohl auch in der Wissenschaft den *Petrifizierungsprozess einer organischen Masse* nennt, kann nun allerdings sehr verschiedene Vorgänge in sich begreifen; sechs derselben lassen sich deutlich voneinander sondern. Die *Verkohlung* hat uns bereits beschäftigt. Anders verhält es sich mit der *Verwitterung* oder *Kalzinierung*, welche fossilen Schalen, Knochen u. dgl. die löslichen mineralischen Bestandteile entzieht; sie bewirkt, dass der Körper nur noch äusserlich seinen Zusammenhang bewahrt, bei Berührung jedoch, wie man dies schon vielfach an scheinbar wohlerhaltenen menschlichen Leichen beobachten konnte, in Staub zerfällt. Häufig geschieht es, dass die organischen Bestandteile des Tier- oder Pflanzenkörpers in der Erde sich verlieren, während den so entstehenden Hohlräumen gelöste mineralische Stoffe zugeführt werden, mit welchen auch die noch unzerstörten aber porösen härteren Teile sich allmählich durch-

[1]) Nur scheinbar streitet gegen diese Behauptung die Wahrnehmung, dass in vulkanische Ablagerungen unter Wasser manche Seetiere geraten und nach und nach in den Zustand der Versteinerung übergegangen sind.

[2]) Von ζῶον, das Tier (α *privativum*). Wenn man sagt, die erwähnten Bildungen seien fossiler Ueberreste bar, so will man damit nur ausdrücken, dass jetzt sich solche nicht mehr in ihnen erkennen lassen. Das in einer azoischen Schicht vermeintlich aufgefundene *Eozoon Canadense* hat sich bei genauerer Untersuchung als eine anorganische Konkretion erfunden. Die Graphitlager im Azoischen dagegen deuten darauf hin, dass Lebewesen vorhanden gewesen und in der Glutflüssigkeit entweder vernichtet oder einer gründlichen Umgestaltung teilhaftig geworden sind.

tränken; jene Mineralstoffe erhärten, und der ganze Körper wird steinharte Masse. Dies ist die *Versteinerung* im engeren und eigentlichen Sinne; sie wird zur *Vererzung*, sobald das versteinernde Mittel in die Klasse der Erze — Eisenkies, Roteisenstein u. s. w. — gehört. Bei der *Inkrustation* überzieht eine Mineralhülle das organische Gebilde, welches nach und nach sich auflöst; aber auch, wenn dies geschehen, bleibt doch noch der Hohlraum übrig, welcher die Gestalt des betreffenden Gebildes erkennen lässt. Ein sehr häufiges Vorkommnis endlich ist die *Abformung*, welche sich in zwiefacher Weise äussern und, je nach den Umständen, einen *Abdruck* oder einen *Steinkern* hervorbringen kann. Im ersteren Falle lag ein Körper mit rauher Oberfläche auf einer weichen Fläche; der erstere wurde von den Fluten hinweggespült, die weiche Unterlage ward fest, aber der Eindruck der Muschel, des Schneckenhauses u. s. w. ist geblieben, wie er ursprünglich gewesen war. Andererseits füllte sich sehr häufig der Hohlraum des tierischen Körpers, wie ihn Echinodermen, Muscheln, Kephalopoden darboten, mit Steinmasse an, und diese blieb als *Steinkern*, gewissermassen als Negativbild des Körpers zurück, nachdem das feste Skelett längst der Zerstörung anheimgefallen war. In die Kategorie der Abdrücke gehören auch die *Tierfährten*, welche man auf ebenen Schichtflächen hin und wieder zu beobachten Gelegenheit hat [1]).

Wenn nun aus *anstehendem*, an der Stelle, wo es sich gegenwärtig befindet, von Anfang an befindlichem Gesteine ein Fossil herausgelöst wird, so darf man annehmen, dass eben dieses Geschöpf damals am Leben war, als diese Schicht aus dem die betreffende Erdstelle überdeckenden Wasser sich niederschlug. Für gewisse Schichten sind auch gewisse Petrefakte typisch, welche man deshalb *Leitfossilien* nennt. Die Herausfindung derselben ist natürlich keine leichte Sache. Im allgemeinen kann man sich ja an die Regel halten, dass die Lebewelt sich in einer stetig fortschreitenden Entwicklung befindet, allein dies ist nicht so zu verstehen, als seien in den untersten und ältesten Schichten die einfachsten und niedrigsten, in den höheren, später abgesetzten Schichten immer höhere Tierformen enthalten. Erstlich ist die Entwicklung keine so ganz regelmässige und lückenlose, wie sie eine auf naturphilosophischem Boden

[1]) Die Versteinerungskunde fehlte dem Altertum gänzlich; die Nachrichten, welche über ein angeblich paläontologisches Museum des Kaisers *Augustus* umlaufen, sind von *Reinach* kürzlich auf ihren wahren Wert zurückgeführt worden. Erst gegen Ende des XV. und XVI. Jahrhunderts wagten es resp. *Lionardo da Vinci* und *Palissy*, die tierische Natur einer gewissen Anzahl von Petrefakten, in denen man vorher „Naturspiele“ erblickt hatte, zu behaupten; später folgten ihnen darin *Lister*, *Woodward*, *Scheuchzer* u. a., aber den Ammoniten gegenüber war selbst dieser letztere, verdienstvolle Naturforscher noch unentschieden und überliess deren Identifizierung seinem Zeitgenossen *Baier*. In neuester Zeit hat unter den Händen eines *v. Born*, *Cuvier*, *W. Smith*, *D'Orbigny*, *L. v. Buch*, *Oppel*, *Beyrich*, *v. Gümbel* die Paläontologie einen sehr hohen Stand erreicht; mehr und mehr verzichtet sie darauf, eine blosse Hilfsdisziplin der Geologie darzustellen und definiert sich, wie dies insbesondere *K. v. Zittel* anregte, als eine selbständige Naturgeschichte der untergegangenen Tier- und Pflanzenformen.

aufgebaute Deszendenztheorie [1]) verlangt, und zum zweiten ist unser Wissen von der untergegangenen Tier- und Pflanzenwelt ein nichts weniger denn vollkommenes, da unsere Bereicherung desselben doch immer stark auf den Zufall angewiesen ist. Gerade dieser Umstand macht die Ermittlung geeigneter Leitfossilien so schwierig. Für den sehr alten Kohlenkalk z. B. ist ein dem untersten Kreise tierischer Formen, den *Protozoen*, angehöriges Tierchen charakteristisch, *Fusulina* genannt; andererseits ist auch eine der weit späteren Tertiärzeit angehörigen Kalkschicht durch Protozoen von überaus ähnlicher Beschaffenheit, die *Nummuliten* [2]), ausgezeichnet. Wer also lediglich aus dem entwicklungsgeschichtlichen Gesichtspunkte heraus die paläontologischen Fragen beurteilen wollte, der wäre der nahe liegenden Gefahr ausgesetzt, Fusulinen- und Nummulitenkalk für synchrone Bildungen zu erklären, während deren Altersunterschied in Wahrheit ein ungeheurer ist.

Die Schwierigkeit, Fossilien auf ihre Gleichzeitigkeit oder Nichtgleichzeitigkeit zu prüfen, wird noch sehr vermehrt durch das, was man als *Faziesverschiedenheit* bezeichnet, und auf dessen hohe Bedeutung zuerst der Schweizer Geologe *Amand Gressly* mit voller Klarheit hingewiesen hat. Verschiedenes Klima, verschiedene geographische Lage und vor allem *Verschiedenartigkeit des Wassers*, in welchem die später fossil gewordenen Tiere während ihrer Lebenszeit sich aufhielten, bringen es zuwege, dass eine gewisse Tierart, welche durch einen gewissen Zeitraum über weite Erdflächen verbreitet war, da und dort ganz verschiedene Züge angenommen hat, welche die Altersbestimmung unsicher machen. Man unterscheidet eine *pelagische* oder *Tiefsee-Fazies*, eine *Strand-Fazies*, eine *Süss-* und *Brackwasser-Fazies*. Nach neueren Forschungen scheint sogar eine *glaziale Fazies* besonders aufgestellt werden zu müssen (s. u.). *Blanford* hat nämlich die Grundlage der Lehre von der geologischen Altersbestimmung angefochten, indem er zeigte, dass dieselben Fossilien, welche in Europa für die sogenannte Kohlenperiode massgebend sind, dieser letzteren, soweit sie sich in Südostasien entwickelt hat, fehlen, während an letzterem Orte die karbonischen Ablagerungen gewisse Versteinerungen, hauptsächlich pflanzlichen Charakters, aufweisen, welche sonst gemeiniglich einer späteren Periode, der Trias, angehören. Wir werden bald sehen, dass man für diese nicht zu leugnende Inkongruenz eine Klimaumwälzung verantwortlich zu machen sucht, welche damals, als bei uns noch

[1]) Thatsächliche paläontologische Bestätigungen hat *Darwins* Lehre nur insoweit gefunden, als innerhalb derselben Art ein kontinuierlicher Fortschritt von unten nach oben nachgewiesen werden konnte (s. u. beim Tertiär). Die sogenannten *Kollektivtypen*, in denen man gemeinsame Züge heute getrennter Familien und Gattungen erkennen wollte, verdienen ihren Namen nur sehr teilweise, wie denn sogar der vielgenannte *Archäopteryx* nach *Dames* ein wirklicher Vogel und kein den Uebergang vom Reptile zum Vogel kennzeichnendes Tier ist.

[2]) Spärlich kommen, wie *v. Gümbel* zeigte, allerdings auch Nummuliten im Jura und in der Kreide vor.

die karbonische Aera herrschte, über Indien und Australien hereingebrochen war.

Die geologischen Formationen. Ehedem, als die paläontologischen Studien noch nicht den Umfang und die Vertiefung von heute gewonnen hatten, neigte man der von *Cuvier* mit Geschick vertretenen *Kataklysmenlehre* zu. Während eines bestimmten Zeitraumes, so nahm man an, lebte auf der Erde eine Tier- und Pflanzenwelt von demjenigen Gepräge, welches sich eben in den diesem Zeitraume zugeordneten Leitfossilien ausspricht. Dann aber trat eine Umstürzung aller bestehenden Verhältnisse, eine geologische Katastrophe, ein, welche die vorhandenen Lebewesen ganz oder grösstenteils hinwegraffte und so veränderte Daseinsbedingungen schuf, dass eine ganz neue Tier- und Pflanzenwelt entstehen musste. Wäre dem wirklich so, dann hätte die geologische Forschung es verhältnismässig bequem; es würden dann gewisse Grenzflächen vorhanden sein, zu deren beiden Seiten sich durchaus verschiedene Verhältnisse konstatieren liessen, und mit der Auffindung dieser Flächen wäre der entscheidende Schritt in jedem Einzelfalle gethan.

Wir wissen, dass es bei der Schichtbildung nicht — oder doch nur in Ausnahmefällen — so zugegangen ist, wie wir es eben darlegten. *Der Uebergang von Zeitraum zu Zeitraum ist im allgemeinen kein sprungweiser, sondern ein stetiger*[1]). Gleichwohl ist ein Teil der älteren Anschauungen auch heute noch bestimmend für uns, einerseits deshalb, weil nur auf diese Weise eine übersichtliche Gliederung des Schichtenbaues der Erdrinde durchzuführen ist, andererseits aber natürlich auch deshalb, weil ihm sachliche Richtigkeit innewohnt. In gewissen unteren Lagen begegnen wir organischen Wesen, welche weiter oben gänzlich fehlen; wenn wir uns mithin nur vor der Annahme hüten, als sei die von uns gesetzte Grenze zweier Räume eine absolute, so dürfen wir allerdings eine Einteilung der Erdkruste durch Niveauflächen — geologisch *Horizonte* genannt — vornehmen, welche zugleich auch der Altersbestimmung genügen kann.

Zunächst sondern wir, indem wir wieder vorerst eine ungestörte Aufeinanderfolge der Schichten voraussetzen, vier grosse *Gruppen* oder *Hauptformationen* ab. Dieselbe Bedeutung, welche diesen Worten in räumlicher Hinsicht eignet, wird zeitlich durch *Aera* wiedergegeben; d. h. es hat eine volle Aera gedauert, bis die Bil-

[1]) Sogar jene Trennungsfläche, welche bislang als die schärfst ausgesprochene unter allen bekannten galt, diejenige, welche meso- und känozoische Hauptformation scheidet, verliert in Nordamerika diese ihre Bedeutung. Ammoniten und Belemniten, die man bisher als mit dem Ende der Kreidezeit erloschen betrachtete, haben sich in seltenen Fällen, wie man jetzt weiss, auch ins ältere Tertiär hinübergerettet. Und in der von *White* durchforschten *Chico-Tejou-Stufe* (Rocky-Mountains) vollzieht sich der Uebergang von der Kreide zum Eozän so durchaus lückenlos, dass man vermuten muss, jene Bodenveränderung, welche allenthalben in der alten Welt mit dem Ende der Kreideperiode eingetreten ist, habe im fraglichen Gebirge gar nicht stattgefunden. Echt kretazische und echt tertiäre Fossilien lagern dortselbst im nämlichen Horizonte.

dung der Gruppe sich vollzogen hatte. Die Namen dieser Gruppen oder Aeren sind die nachstehenden [1]: *azoisch* oder *archaisch, paläozoisch* oder *paläolithisch* [2]), *mesozoisch* oder *mesolithisch*, *känozoisch* oder *känolithisch.* Innerhalb einer jeden Hauptformation trennen wir durch Horizonte *Formationen* oder *Systeme* ab, die chronologisch als *Perioden* gekennzeichnet werden; ein System zerfällt in *Sektionen* oder *Serien,* und die zur Bildung einer Sektion benötigte Zeit wird *Epoche* genannt; eine Serie gliedert sich in *Stockwerke* oder *Stufen,* und diesen beiden Kunstausdrücken entspricht als Zeitbegriff das *Alter;* jedes Stockwerk endlich besteht aus den einzelnen *Schichten, Lagen, Bänken.* Diese Nomenklatur hat im Jahre 1882 der geologische Kongress zu Bologna, auf Grund der von *A. Heim* gemachten Vorschläge, zur normativen gemacht, indessen fehlt allerdings noch ziemlich viel, dass dieselbe ganz allgemein durchgedrungen wäre. Die Versteinerungskunde ersieht ihr höchstes Ziel darin, dass sie nicht bloss Gruppen, Systeme, Sektionen oder Stockwerke, sondern selbst Einzelschichten und Einzelhorizonte durch deren Leitpetrefakte festzulegen im stande sei, und wenigstens für einen grossen Teil von Europa ist sie diesem Ziele schon sehr nahe gekommen.

Nachdem sohin die generellen Festsetzungen getroffen sind, können wir dazu übergehen, die einzelnen Glieder unseres Stufenbaues näherer Betrachtung zu unterziehen. Wir beginnen unten und steigen aus den Tiefen der Erde allmählich zu deren Oberfläche empor.

Die azoische Gruppe. Wir haben ein Recht, zu glauben, dass jede Tiefbohrung, wo immer auf der Erde sie gemacht wird, zuletzt auf azoisches Gestein oder, wie man auch sich ausdrückt, auf *Urgestein* führen muss. Für dieses eine genauere Altersbestimmung durchzuführen, ist natürlich mit noch grösseren Schwierigkeiten verbunden, als sie bei den Sedimenten zu überwinden waren, weil die Altersmarken, die fossilen Ueberreste, hier vollständig fehlen. Im allgemeinen sind *Granit, Gneis* und *alte Schiefer* die hervorragendsten Gesteine der Urgebirgsgruppe. Die beiden erstgenannten Gesteine besitzen wohl das höchste Alter, während die Bildung des *Glimmerschiefers* etwas später, die des *Phyllites* noch später stattgehabt haben dürfte. Infolgedessen schiebt sich zwischen den Granit und die untersten Stufen der paläozischen Formation vielfach eine Zone von Glimmer-, Urthonschiefer u. dergl. ein. Vorkommnissen im englischen Nordamerika eine weitere Folge gebend, hat man deshalb innerhalb der azoischen Gruppe zwei grössere Systeme unterschieden, dasjenige der *Laurentischen Gneis-* und dasjenige der *Huronischen Schieferformation.* Mit einigen Abänderungen scheint diese Einteilung auch in Europa Gültigkeit zu beanspruchen; die vier Systeme, welche

[1]) Das Wort azoisch ist bereits definiert; die anderen Bezeichnungen rühren von den Hauptwörtern ζῶον und λίθος (Stein), sowie den Adjektiven παλαιός (alt), μέσος (mittel) und καινός (neu) her.

[2]) Diese Bezeichnung ist (s. u. S. 95) eine doppelsinnige und wird deshalb besser nicht angewendet.

z. B. *v. Gümbel* für das mitteldeutsch-böhmische Urgebirgsmassiv stipuliert, sind, von unten an gezählt, diese folgenden: *Bojische* und *Herzynische Gneisformation*, *Glimmerschiefer-* und *Phyllitformation*. Auch die Alpen, soweit sie bisher der Untersuchung zugänglich geworden, weisen kein älteres Gebilde als den sogenannten *Zentralgneis auf*.

Bezüglich der Urgesteine wogte, nachdem der wässrige Ursprung der geschichteten Felsen längst von allen Seiten zugestanden war, noch immer der alte Streit zwischen *Neptunisten* und *Vulkanisten*. Der schroffe Standpunkt der ersteren, welche in *Werner* ihren Meister anerkannten, wurde ursprünglich auch von *A. v. Humboldt* und *L. v. Buch* geteilt, welch ersterer viele vergebliche Anstrengungen machte, selbst dem Basalt eine nasse Entstehung zu vindizieren. Später sind die sogenannten *Jung-Neptunisten*, wie *G. Bischof*, *Mohr*, *Volger* u. a. aufs neue für die allmählich zurückgedrängte *Werner*sche Lehre, selbstverständlich unter manchen der Neuzeit angepassten Veränderungen, eingetreten. Die beiden grossen Schüler *Werners* jedoch erweiterten ihren Blick auf weiten Reisen und gingen nunmehr mit solcher Entschiedenheit zur entgegengesetzten Richtung über, dass auf ihre Autorität hin längere Zeit sämtliche Urgesteine als das Produkt mehr oder minder langsamer Erstarrung aus feurigem Flusse gelten konnten.

Granit, Diorit, Diabas und zahlreiche andere Massengesteine, von den im engeren Sinne als vulkanisch zu bezeichnenden Gebirgsarten abgesehen, tragen nun in der That alle Kennzeichen einer solchen Entstehung an sich; wesentlich anders aber liegen die Dinge beim Gneis und bei den krystallinischen Schiefern. Den ersteren denkt sich *v. Gümbel*, dessen Hypothese neuerdings viele Anhänger gefunden hat, durch den von ihm mit dem Namen der *Diagenese* bezeichneten Vorgang gebildet. Man hat den Niederschlagsprozess bisher zu schematisch aufgefasst, und es scheint zugegeben werden zu müssen, dass auch gegenwärtig noch Silikate aus dem Meerwasser heraus krystallisieren; dies mag in erhöhtem Masse in den frühesten Perioden unserer Erdgeschichte der Fall gewesen sein, und es bildeten sich damals Sedimente von grösserer Festigkeit, als sie den in späteren Zeiten niedergeschlagenen Gesteinen eigen ist. Auch die Bildung von Konkretionen möchte *v. Fritsch* als einen der Diagenese vergleichbaren Prozess aufgefasst wissen.

Was nun die krystallinischen Schiefer anlangt, so kann man sich vorstellen, dass das Material, welches nachgerade diese Form annahm, entweder durch Erstarrung oder durch Diagenese entstanden war und hierauf gewissen Umgestaltungen unterlag, für welche die Gesamtbezeichnung *Metamorphismus* üblich geworden ist [1]). Hier haben

[1]) Man pflegt, worauf *v. Richthofen* aufmerksam macht, den Namen der Metamorphose für gewisse sehr tief greifende, die innerste Natur der betroffenen Körper verändernde Umgestaltungen zu reservieren. Im übrigen sind es ja auch Metamorphosen, wenn Kalkstein dolomitisiert wird, wenn Gips durch Wasserverlust in Anhydrit übergeht, wenn durch Kaolinisierung des im Granit enthaltenen Feldspates ersterer verwittert u. s. w.

wir es insbesondere mit dem gleichmässig über ausgedehntere Gesteinsmassen sich erstreckenden *regionalen Metamorphismus* zu thun, dessen Wesen befriedigend zu erklären, den Geologen und Geophysikern noch nicht gelungen ist, wogegen man das Eigentümliche des *Kontaktmetamorphismus* klarer auffasst. Durch ersteren ist das molekulare Gefüge des Gesteines von Grund aus geändert; gewisse mechanische Vorgänge, welche uns im nächsten Abschnitte beschäftigen werden, scheinen bei dieser Umlagerung der kleinsten Bestandteile des Körpers massgebend gewesen zu sein. Sogar jüngere Eruptivgesteine können, wie die norwegischen Forscher an den in ihrem Lande vorkommenden Beispielen dargethan haben, in krystallinische Schiefer umgewandelt werden; dass der körnige Granit direkt in geschichteten Gneis übergeht, wird ausdrücklich bezeugt. Das geologische Experiment, wie es nach dem Vorgange von *Hutton, F. Pfaff* u. a., zumal *Daubrée* (S. 4), ein nicht zu unterschätzendes Hilfsmittel der Wissenschaft von der Erde geworden ist, hat auch schon begonnen, den erwähnten Vorgang im Kleinen nachzuahmen [1]).

Gegenüber dem regionalen Metamorphismus hat derjenige, welcher auf der Berührung zwischen feurig-flüssigen Ergüssen und Schichtgestein beruht, einen eingeschränkteren Bereich, indem ihm nur die Randzone rings um die Durchbruchsstelle unterliegt. Am stärksten offenbaren sich die hierher zu rechnenden, grossenteils wohl auf Rechnung der hohen entwickelten Wärme zu setzenden Umwandlungserscheinungen [2]) beim Granit [3]), während vulkanisches und porphyrisches Gestein nur eine geringere Wirkung ausübt. Benachbarter Kalkstein bekommt ein krystallinisches Gefüge (*Marmor*), Sandstein wird *gefrittet*, es bilden sich die in eine besondere Klasse einzureihenden *Kontaktmineralien* (Granat, Glimmer u. s. w.), und die ganze von Kontaktmetamorphismus betroffene Fläche repräsentiert einen eigenartigen Uebergang von der körnigen zur sedimentären Gesteinsstruktur. Der Radius des Kreises, innerhalb dessen sich diese Erscheinungen erkennen lassen, beträgt oft ein paar Kilometer.

[1]) Sehr beachtenswerte Gedanken über die von Streckung und Walzung einer Gesteinslage bewirkten inneren Transformationen hat auch *Pilar* geäussert.

[2]) Hierher gehört u. a. auch das schon früher (S. 75) angezogene Beispiel einer durch Erhitzung zu Steinkohle gewordenen Lignitmasse.

[3]) Ein typisches und ebendeshalb einer eingehenderen Darstellung würdiges Vorkommen von Kontaktmetamorphismus ist dasjenige, welches *Rüdemann* im Fichtelgebirge bei Gefrees beobachtet und einlässlich beschrieben hat. Hier hat der Granit sich eruptiv an die Oberfläche gedrängt, nachdem die unter- und oberkambrischen Schiefer bereits gebildet waren, doch erlitten nicht nur diese eine Veränderung, sondern auch der Granit selbst blieb nicht unbeeinflusst, er bekam in den peripherischen Teilen der Durchbruchstelle ein kleineres Korn und einen grösseren Gehalt an Apatit. Schon tausend Schritte von jener Stelle beginnt die Region des veränderten Schiefers, der nahe bei ersterer zu blauschwarzem, hartem *Hornfels* verbrannt erscheint. Die Hornblende ist für den ganzen Bezirk des Kontaktes in Chlorit übergegangen. Aus den unterkambrischen Schiefern dagegen, welche hier, der oben aufgestellten Regel (S. 84) gemäss, unmittelbar dem Phyllit aufgelagert sind, ist die als *Fruchtschiefer* bekannte Varietät hervorgegangen.

Oberhalb der Urformation beginnt nunmehr diejenige, welche wir als paläozoisch bezeichnet haben. Wir zerfällen sie in fünf Einzelformationen [1]), indem wir nach oben aufsteigen.

Die paläozoische Gruppe. A. *Kambrische Formation* = *Kambrium* (von der englischen Landschaft Kambrien). Diese Formation, die man erst vor verhältnismässig kurzer Zeit von den beiden zunächst über ihr ruhenden Systemen als ein besonderes geotektonisches Glied unterschieden hat [2]), ist trotzdem von einer sehr bedeutenden Mächtigkeit; wahrscheinlich beansprucht dieselbe von einem sie senkrecht durchschneidenden Erdradius einen grösseren Teil, als irgend eine andere. In Einzelabteilungen lässt sie sich nur schwer zerlegen, doch unterscheidet man gewisse, durch Fossilreichtum ausgezeichnete Schichten, wie z. B. die *Tremadok*schichten, welche ihren Namen zwar vom britischen Wallis führen, aber auch in Deutschland, z. B. bei Hof in Bayern, kräftig entwickelt sind. Der Fazies der kambrischen Tierwelt nach zu schliessen, haben sich die Schichten dieses Systemes aus einem sehr tiefen Wasser, aus einem Ozeane, niedergeschlagen; hierauf weisen vorzugsweise die vielen augenlosen Tiere hin, welche man in den betreffenden Ablagerungen vorfindet. Die bemerkenswertesten Leitfossilien im Kambrium sind einige Arten von *Trilobiten*, eigentümlichen, von ihren modernen Nachkommen im Bau weit verschiedenen Krebstieren.

B. *Silurische Formation* = *Silur* (nach einem von *Cäsar* erwähnten streitbaren keltischen Volke in Westbritannien). Man kann für einen grossen Teil der keinem Erdteile ganz fehlenden Silurgebirge drei Sektionen trennen:

a) *Untersilur* (vielfach mit dem oberen Kambrium vereinigt);

b) *Mittelsilur* (hierher gehören zumal die Wallisischen *Wenlock-Schichten*);

c) *Obersilur* (in den *Passage-Beds* langsam ins Devon übergehend).

Allein diese Einteilung bezieht sich zunächst nur auf die sozusagen klassischen Verhältnisse der britischen Inseln. Anderwärts macht sich eine so tief greifende Verschiedenheit der Fazies geltend, dass man in Europa allein drei unter abweichenden Verhältnissen zu stande gekommene Silur-Komplexe zu unterscheiden sich genötigt sah: das *baltisch-skandinavische*, das *südosteuropäische* und das *böhmische Silur*. Letzteres ist durch die weit über ein Menschenalter unermüdlich fortgesetzten Bemühungen *Barrande*s so bekannt

[1]) Die Bezeichnung der einzelnen Formationen, Stockwerke u. s. w. ist meist die geographische, indem man eine Oertlichkeit wählt, an der Gestein der bezüglichen Schichtenfolge in besonderer Menge und Reinheit ansteht. Nicht selten hat die Namengebung, wie weiter unten ein treffendes Beispiel belegen wird, stark fehlgegriffen, allein trotzdem blieb man der einmal eingebürgerten Ausdrucksweise bei. Uebrigens ist auch die mehr petrographische Nomenklatur (Karbon, Buntsandstein u. s. w.) nicht ganz von Bedenken frei.

[2]) Manche Schriftsteller fassen, bergmännischer Sprachweise entsprechend, Kambrium, Silur und Devon als *Grauwackenformation* zusammen; andere wieder, so *v. Gümbel*, sprechen vom *Uebergangs-* oder *Transitionsgebirge*.

geworden, wie nur irgend eine geologische Formation. Von den Leitfossilien sind nach wie vor die Trilobiten die wichtigsten, aber auch *Röhrenkorallen* und *Graptolithen* (eine ausgestorbene, sehr niedrig stehende Abteilung des Tierreiches), sowie die zählebigen *Nautiliden*[1]) sind in dieser Beziehung zu nennen. Auch zeigen sich die ersten *Fische* im Obersilur der Ostseeinsel Oesel.

C. *Devonische Formation* ═ *Devon* (englische Grafschaft Devonshire). Abweichend vom Silur, scheint die Ablagerung der devonischen Massen auf der ganzen Erde sich in ziemlich gleichmässiger Weise vollzogen zu haben, so dass die Trichotomie des Devons sich überall wieder erkennen lässt. Es ist diese:

a) *Unterdevon* (Quarzite, Thonschiefer, Grauwacke, Sandstein mit wenig Kalk);

b) *Mitteldevon* (mächtige Kalksteinentwicklung; *Eifler Kalk*);

c) *Oberdevon* (durch das erste Auftreten von Ammoniten gekennzeichnet).

Der Fazies nach abweichend, verhält sich auch sonst in manchen Beziehungen vom Devon des europäischen Kontinentes verschieden der *alte rote Sandstein* („*Old red Sandstone*") Grossbritanniens, welcher dort direkt über dem Silur liegt und zum einen Teile als eine Süsswasser-, zum anderen Teile als eine Strandbildung betrachtet werden muss. Zwischen devonischer und silurischer Fauna besteht ein nennenswerter Unterschied nicht; besonders charakteristisch erscheinen die als *Goniatiden* und *Klymenien* bekannten Kephalopodengeschlechter und die fälschlich als *Pantoffelmuschel* im Volksmunde bezeichnete *Deckelkoralle*. Die Fische werden häufiger, doch gehören sie vorwiegend den heutzutage nur noch wenige Repräsentanten aufweisenden *Ganoiden* oder *Schmelzschuppern* an.

D. *Kohlen-* oder *karbonische Formation* ═ *Karbon*. Die gewöhnliche Abgrenzung zweier Serien, nämlich

a) *Kohlenkalk* resp. *Kulm* (englische Lokalbezeichnung),

b) *Produktive Steinkohlenbildungen*,

hat keinen inneren Wert und trifft für umfangreiche Gebiete des Karbons überhaupt gar nicht zu. Man hat nämlich konstatiert, dass oft zwischen Kohlenkalkschichten solche lagern, die aus wirklicher Steinkohle bestehen, und dass umgekehrt mitten in der eigentlich produktiven Formation Kohlenkalk sich findet; es wird folglich kaum angehen, den Kulm schlechthin als eine marine, die produktive Kohle als limnische Bildung anzusprechen. Die Art und Weise der Bildung der Kohlenflötze, die klimatische Eigenart des karbonischen Zeitalters sind trotz zahlloser, zu diesem Zweck ausgesonnener Hypothesen noch zu wenig geklärt, um an dieser Stelle Gegenstand einer sachlichen Erörterung werden zu können. Zumal seit der Auffindung der *Gondwana-Stufe* in Afghanistan, Vorder- und Hinterindien und

[1]) Die Nautiliden nehmen, im Gegensatze zu anderen Geschöpfen, mit der Annäherung an die Gegenwart mehr und mehr ab; sie sind zahlreicher in älteren als in jüngeren Formationen. Von dreihundert bekannten Arten leben noch sechs, sprechende Zeugen von einem nahezu vollständig erloschenen tierischen Urzustande.

der nahe verwandtschaftliche Züge aufweisenden *Karroo-Stufe* im südafrikanischen Dreiecke haben sich, worauf oben (S. 82) bereits angespielt ward, die bezüglichen Probleme noch beträchtlich verwickelt; nach *Blanford, Medlicott* und ganz besonders nach *Waagen* scheint die beobachtete Anomalie nur durch die Annahme einer *karbonischen Eiszeit* gehoben werden zu können, welche die erwähnten, damals mutmasslich zusammenhängenden Länder befallen hatte. Wir werden unten, in Abschnitt XV, dem Gegenstand von einer anderen Seite her näher treten. — Für den Kohlenkalk bildet die oben (S. 82) namhaft gemachte *Fusulina* ein mustergiltiges Leitfossil. *Muscheln* und *Schnecken* nehmen im Karbon stetig zu; die Fische ähneln auffällig den in der Jetztzeit selten gewordenen, durch Lungen und nicht durch Kiemen atmenden Fischen (z. B. *Lepidosiren* im Amazonenstrom); auch begegnen uns echte *Amphibien*, die viele Unterabteilungen besitzenden *Stegokephalen*, und *Reptilien*. Angesichts des Umstandes, dass ja alle Kohle dem Pflanzenreiche entstammt, verdient natürlich auch die karbonische Flora eine erhöhte Aufmerksamkeit. *Farne*, *Kalamiten*, *Lepidodendren* und *Sigillarien* oder *Siegelbäume* sind die wichtigsten Vertreter dieser Flora. Da ist es nun höchst eigentümlich, dass die Pflanzen der Gondwana- und Karroo-Schichten ein ganz anderes, ungleich weniger tropisches Gepräge an sich tragen, als diejenigen der Kohlenperiode im allgemeinen, und auch die tierische Bevölkerung ist eine ganz andere geworden. Da die Farngattung *Glossopteris* das leitende Fossil für die klimatisch isoliert stehenden karbonischen Ablagerungen darstellt, so teilt man letzteren eine *Glossopteris-Flora und -Fauna* zu. Letztere wird namentlich durch solche Fische, wie *Paläoniskus*, vertreten, welche in Europa erst der nächsthöheren Formation, dem Perm, angehören.

E. *Permische* oder *Dyas-Formation* ≡ *Perm* oder *Dyas*. Ueber der Benennung dieses Systemes hat ein ganz besonderer Unstern gewaltet. Gerade im russischen Gouvernement Perm, in welchem man auf Grund älterer Berichte die Formation überaus mächtig entwickelt glaubte, fehlt Permgestein an den meisten Orten [1]), und die Dyas, d. h. die Zweiteilung des Systemes, lässt sich nur für das deutsche Mittelgebirge, besonders für Thüringen, rechtfertigen. Dort haben nämlich von jeher die Bergleute den heute als Dyas angesprochenen Schichtenkomplex in zwei Hauptabteilungen zerlegt:

a) *Rotliegendes* (auch *rotes*, *totes Liegendes*, Sandsteine und Konglomerate);

b) *Zechstein* (eine vom vorigen durch die Kupferschiefer getrennte Kalk- und Dolomitmasse).

Ersteres hat sich aus einem ziemlich seichten Binnengewässer niedergeschlagen, der Zechstein dagegen ist marinen Ursprunges. Anderwärts lässt sich diese spezifisch deutsche Dichotomie nicht durchführen; auch fällt es nicht selten, z. B. im pfälzisch-rhein-

[1]) Man entsinnt sich, dass von einem Seitenstücke zu dieser Namenverwirrung oben (S. 76) beim Syenit gesprochen worden ist.

preussischen Kohlenbecken, überaus schwer, Karbon und Perm deutlich von einander zu trennen. Fische (s. o.) und Reptilien, worunter der mit glänzenden Kopfschildern versehene *Archegosaurus Decheni*, sind häufiger als in der Kohlenzeit. Der Zechstein ist in Deutschland durch äusserst zahlreiche Ansiedlungen von *Bryozoen* oder *Mooskorallen* ausgezeichnet.

Die mesozoische Gruppe. Gewisse gemeinsame faunistische Züge lassen die drei dieser Gruppe einzuordnenden Systeme als ein von den paläozoischen Bildungen verschiedenes Ganzes erkennen und berechtigen dazu, ein besonderes „tierisches Mittelalter“ zu unterscheiden. Massgebend ist für dessen Eigenart eine *äusserst kräftige und differentiierte Entfaltung von Kriechtieren und gewissen Kephalopoden*. Drei Hauptsysteme, die von den Paläontologen wieder in so zahlreiche Unterabschnitte geteilt wurden, dass wir auf deren Besprechung in der Hauptsache verzichten müssen, treten besonders hervor.

A. *Trias-* oder *triassische Formation* = *Trias*. Die Genese des Namens ist eine ganz ähnliche und unzutreffende, wie bei der Dyas, denn jene Abtrennung dreier sich stockwerkig überlagernder Schichtserien, welche die Bezeichnung lieferte, gilt nur im Bereiche eines begrenzten Bezirkes und verliert anderswo ganz und gar ihre Berechtigung. Es ist schwer, die triassischen Bildungen verschiedener Erdräume unter gemeinsame Gesichtspunkte zu bringen, doch lassen sich wenigstens zwei grundsätzlich verschiedene Typen herausfinden, die Binnen- und die Alpentrias.

I. Binnenländische, teils limnische, teils marine Trias. Für Mitteldeutschland ist die bereits von den Geognosten des XVIII. Jahrhunderts aufgestellte Gliederung in drei Sektionen charakteristisch:

a) *Buntsandstein* (aus seichtem Wasser abgesetzt);

b) *Muschelkalk* (eine marine Bildung);

c) *Keuper* (Sandsteine und Mergel als Strandablagerungen gemengt).

Insofern nirgendwo auf der Erde die Mannigfaltigkeit der Triasschichten eine grössere ist als in Deutschland, können die bei uns obwaltenden Verhältnisse recht wohl die Norm für den Vergleich mit anderen Ländern abgeben. Nordamerika z. B. weist fast bloss bunten oder, richtiger gesagt, roten Sandstein — ähnlich wie der Spessart — auf; in Grossbritannien ist das als Muschelkalk bekannte Glied ausgefallen u. s. w. Pflanzenreste sind, zumal im europäischen Binnengebiete, vergleichsweise selten; dagegen stehen ganz fossilarme Schichten solchen gegenüber, welche überaus reich an tierischen Ueberresten sind (*Bone-Bed* im württembergischen Keuper). Die Ammoniten wachsen nach Art und Individuenzahl; für den deutschen oberen Muschelkalk ist *Ceratites nodosus* ein Leitfossil von nicht leicht zu übertreffender Zuverlässigkeit [1]). Fische

[1]) Da dieser Ammonit fast genau an die Grenzen Deutschlands, dies Wort im politischen Sinne genommen, gebunden ist, so verlangte *L. v. Buch* scherzweise dessen Aufnahme in das deutsche Wappen.

und Reptilien finden sich zahlreich vor; von den letzteren sind *Belodon* und *Aetosaurus* die merkwürdigsten, von welch letzteren Tieren *O. Fraas* im Keuper von Stuttgart ein förmliches Nest ausgenommen hat. Auch ein wirkliches Amphibium ist in dem seiner komplizierten Zahnstruktur halber diesen Namen führenden *Labyrinthodon Rütimeyeri* entdeckt worden, und sogar Säugetierüberreste scheinen der Trias nicht zu fehlen, da gewisse im schwäbischen Keuper und in den synchronen Ablagerungen Nordamerikas und Südafrikas ausgegrabene Zähne unverkennbar auf insektenfressende Beuteltiere (*Mikrolestes, Triglyphus*) hinweisen.

II. Alpine oder *pelagische Trias.* Ganz anders, als in der Ebene und im Mittelgebirge, hat sich die Trias im Bereiche der Alpen entwickelt; sie bildet hier den Hauptbestandteil der den Urgebirgszug zu beiden Seiten begleitenden Kalkketten. Die ältere Geologie stand diesen Bildungen ratlos gegenüber, so dass man sich mit dem unbefriedigenden Auskunftsmittel behelfen musste, den *Alpenkalk* als eine besondere, seiner Entstehungszeit nach nicht näher bestimmbare Felsart hinzustellen [1]). Erst als man die Lebewelt der Alpen näher untersuchte, zeigte sich, dass die dortigen Tiere nur durch ihre Tiefseefazies von denjenigen der bereits bekannten Trias unterschieden waren. Ungeheure Vielseitigkeit der Ammoniten ist eines der hervorstechendsten Momente der Alpentrias, wie denn in ihr die grösste aller Arten dieses Kephalopoden, der *Ammonites Metternichii*, zuhause ist. Auch *Korallenkolonien* [2]) kommen in überraschender Mannigfaltigkeit vor [3]). Die alpine Triasfauna ist reich an Merkwürdigkeiten, wie z. B. die fast unerklärliche *Zwergfauna von St. Kassian* beweist. Auf die Mitteilung der von den Geologen unterschiedenen Serien, Stockwerke und Einzelschichten müssen wir als zu weit führend Verzicht leisten; nur dessen sei noch gedacht, dass man als oberste Stufe der Alpentrias die *rhätische*

[1]) Im Jahre 1805 drückte sich der verdiente bayerische Landesgeologe *Flurl* in seiner Abhandlung „Ueber die Gebirgsformationen in den dermaligen Churpfalzbaierischen Staaten“ (S. 11) folgendermassen aus: „Alle unsere oberländischen Hochgebürge bestehen aus einer eigenen Kalksteinformation, die aber wieder aus verschiedenen ihr untergeordneten Zwischenformationen zusammengesetzt ist . . . Der die Hauptmasse dieser Gebürge ausmachende Kalkstein ist gewöhnlich von einer lichtgrauen Farbe, einem feinen Korne und einem splitterigen Bruche und enthält selbst in seiner Mischung nicht so viel Thon, als unser unterländischer, an der Donau und in der Obernpfalz befindliche Kalkstein, und es ist eine ausnehmende Seltenheit, in ihm einige Versteinerungen anzutreffen: er wurde daher von dem königlichen preussischen Bergrath *Karsten* mit dem Namen Alpenkalkstein belegt.“

[2]) Eine ergiebige Fundstätte triassischer Korallen ist beispielsweise der sehr leicht zugängliche Gipfel des *Hochfelln* in den Chiemgauer Alpen.

[3]) Die Dolomitgebirge Südtirols besitzen nach der Ansicht hervorragender Kenner, von denen wir nur *v. Richthofen* und *v. Mojsisovics* namhaft machen wollen, ganz den Charakter von Korallenriffen. Dem letzteren zufolge ragte der krystallinische Zentralalpenzug als Insel aus dem ihn umwogenden Triasmeere hervor, und in diesem erbauten Korallentiere die mächtigen Barrièreriffe, welche jene Insel ebenso umsäumten, wie man dies gegenwärtig als Regel in den südöstlichen Meeren wahrnimmt. Näheres darüber bringt Abschnitt XVII.

betrachtet, welche mit den nach Kössen in Nordtirol benannten *Kössener Schichten* an den alpinen Jura grenzt.

B. *Jura-* oder *jurassische Formation* = *Jura*. Die Erfahrungen, welche man in den als Schweizer, Schwäbischer und Fränkischer Jura bezeichneten Längsgebirgen gesammelt hatte, verallgemeinerte *v. Buch* zur Abgliederung eines besonderen Systemes; um dessen Erforschung hat sich *Quenstedt* ganz dieselben Verdienste erworben, wie *Barrande* um die des böhmischen Silurs. Dementsprechend ist die Schwaben, das engere Forschungsgebiet des genannten Gelehrten, beherrschende Anordnung der Juraschichten die normative geworden, doch konnte dies auch um so eher geschehen, weil die Ablagerung aus dem Jurameere offenbar allerorts eine ziemlich gleichartige war. Die drei an den meisten Erdstellen zu unterscheidenden Sektionen sind:

a) *unterer oder schwarzer Jura* = *Lias* (englische Lokalbezeichnung);

b) *mittlerer oder brauner Jura* = *Dogger* (ebenso);

c) *oberer oder weisser Jura* = *Malm* (ebenso).

Es bedarf kaum ausdrücklicher Hervorhebung, dass nicht überall, wo Jura ansteht, die Aufeinanderfolge genau diese typische ist, vielmehr fehlt, was vorzugsweise vom alpinen Jura gilt, da das eine, dort das andere Glied. *Korallen*, *Seelilien* — der gigantische *Pentakrinus* ist Leitfossil für den oberen Lias —, grosse *Seeigel* mit irregulärem Körperbau, gewisse Brachiopoden (*Terebratula janitor*), Ammoniten und Belemniten in verwirrender Fülle, *Krebse* und *Krabben* repräsentieren die niedere Tierwelt; stark *heterozerke*[1]) Fische durchfurchten zahlreich das Jurameer, die Vögel zeigen sich erstmalig (S. 82) im Solnhofener Lithographenschiefer als *Archäopteryx;* dagegen sind von jurassischen Säugetieren keine Spuren wahrgenommen worden. Ganz unbeschreiblich gross war der Reichtum an Reptilien, unter denen die grossen *Panzersaurier* eine Hauptrolle spielten. Der mit Flossen versehene, bis zu 20 m lang gewordene *Ichthyosaurus*, der ihm ähnliche, aber durch seine Tatzen zur Bewohnung beider Elemente geschickte *Teleosaurus,* der am Schwanenhalse kenntliche *Plesiosaurus,* die abenteuerlichen Flugeidechsen *Pterodaktylus* und *Rhamphorhynchus* müssen besonders genannt werden. Die amerikanischen *Dinosaurier* (*Kompsognathus*), mit welchen uns *Marsh* bekannt machte, bekunden einige Annäherung an den Vogeltypus und leiten über zur:

C. *Kreide- oder kretazischen Formation* = *Kreide*. Der Uebergang zwischen Jura und Kreide ist ein sehr allmählicher; von einer gewissen Serie, dem *Tithon,* aus dem z. B. fast die ganze Insel *Capri* besteht, ist es sogar nicht recht entschieden, ob man sie als obersten Jura oder aber als unterste Kreide auffassen soll. Lässt man sie

[1]) *Homozerk* sind durchweg unsere rezenten Fische, d. h. es sind ihre beiden Schwanzflossen genau symmetrisch ausgebildet. Je weiter man in die Vorwelt zurückgeht, um so asymmetrischer, um so mehr heterozerk gestaltet sich dagegen der Bau dieser Flossen.

ausser Rechnung, so kann man die Einteilung der Kreideformation wie folgt durchführen:

a) *Untere Kreide* (in Deutschland *Hils*; in Frankreich *Neokom*[1]); in England *unterer Grünsand*;

b) *Mittlere Kreide* (*Flammenmergel* oder *Gault*);

c) *Obere Kreide*; in letzterer sind wieder vier bestimmte Stockwerke zu unterscheiden, nämlich:

α) *Zenoman* (*Le Mans* in Frankreich); in Deutschland[2]) *Unterquader*; in England *oberer Grünsand*;

β) *Turon* (*Tours* in Frankreich); in Deutschland *Pläner*;

γ) *Senon* (*Sens* in Frankreich); in Deutschland *Oberquader*;

δ) *Dänische Stufe* (*Danien*); fast ausschliesslich auf den dänischen Inseln entwickelt[3]).

Die Ammoniten und Belemniten besitzen auch in der Kreide noch eine üppige Entfaltung, aber durchweg ergibt sich an ihnen eine fast pathologische Gestaltveränderung; zumal die ersteren sind, statt aufgerollt, vielmehr in die Länge gezogen. In der unteren Kreide, zumal der Alpen, sind gewisse Seeigel vorherrschend (*Spatangenkalk*); das obere Neokom besitzt ferner eine grosse Neigung zu wilder Zerklüftung (*Schrattenkalk*, *Karrenfelder*, *Karstgebirge*). Die Vielzahl der Reptilien ist verschwunden, doch sind an die Stelle der Jura-Echsen manche womöglich noch abenteuerlichere Tiere getreten, so der zuerst in den Höhlen des Petersberges bei Maastricht aufgefundene, späterhin aber auch anderwärts nachgewiesene schlangenähnliche *Mosasaurus* und der plumpe *Iguanodon*. Aber auch eigentliche Schlangen kommen zuerst in kretazischen Bildungen vor. Die Vögel sind hauptsächlich durch amerikanische Typen, *Hesperornis* und *Ichthyornis*, vertreten, deren Schnäbel *bezahnt* sind; Säugetierüberreste enthalten die obersten Kreideschichten Englands (das *Purbeck*), doch spielen sie noch keine namhafte paläontologische Rolle.

Um so mehr überrascht es, direkt über der Kreide allenthalben Ueberreste von teilweise riesigen *Säugetieren* anzutreffen. Wesentlich hierauf stützt sich die allgemeine Meinung, dass zwischen der mesozoischen und känozoischen Aera, deren Besprechung wir uns jetzt zuwenden, erhebliche Umgestaltungen sich ereignet haben müssten, allein nach dem, was oben (S. 83) von den amerikanischen Felsengebirgen beigebracht ward, scheinen diese Umwälzungen zum wenigsten keine ganz allgemeinen gewesen zu sein.

[1]) Mitten im Neokom findet man Einschiebungen des sogenannten *Wälderthons* (*Wealden*), der eine Brackwasserfauna enthält und, wenn man nur auf diese, nicht aber auch auf die Lage der Schichten Rücksicht nehmen wollte, dem Jura zugerechnet werden müsste. Das Wort Neokom ist dem lateinischen Namen der Stadt Neuchatel nachgebildet.

[2]) Wenn von Deutschland die Rede ist, so wird darunter in erster Linie das durch die dem Pläner eigentümlichen prismatischen Felsbildungen ausgezeichnete sächsisch-böhmische Elbgebirge (die *Sächsische Schweiz*) verstanden.

[3]) Zumal auf Seeland; doch gehören hierher auch die landschaftlich berühmten Kreidefelsen der Insel *Möen*.

Die känozoische Gruppe. Diese Hauptformation besitzt zwei grosse Untergruppen, Tertiär und Quartär.

A. *Tertiärformation* ≡ *Tertiär*. Die wesentlich von *Lyell*, *Dana* und *Beyrich* abgegrenzten Sektionen derselben werden ihrem Wesen nach schon durch ihre Namen charakterisiert. Das Beiwort καινός [1]) wird mit ἠώς (die Morgenröte), ὀλίγος (geringfügig), μεῖον (weniger), πλεῖον (mehr) und eventuell mit πλεῖστον (am meisten) zu einem Hauptworte vereinigt, und wir erhalten so folgende Gliederung:

a) *Eozän* }
b) *Oligozän* } beide zusammen auch *Eogen* genannt;

c) *Miozän* }
d) *Pliozän* } beide zusammen auch *Neogen* genannt.

Bezüglich der Bezeichnung *Plistozän* besteht keine vollständige Uebereinstimmung, indem deutsche Schriftsteller darunter die obersten Schichten des Pliozäns, englische aber die untersten des Quartärs verstehen. Die Eogenbildungen sind ebenso grossenteils marin, wie auch das Miozän, wogegen die pliozänen Absätze sich aus seichten, überwiegend brackischen Gewässern niedergeschlagen haben. Die Faziesfrage hat bei den tertiären Ablagerungen ganz besondere Schwierigkeiten bereitet. Am Nordrande der Alpen zieht sich eine nicht sehr breite Zone hin, deren Wesen noch heute nicht so weit geklärt ist, als es wünschenswert wäre. *Studer* fasst mit dem in der Schweiz gebräuchlichen Provinzialnamen *Flysch* ein in seinem Vaterlande wohlbekanntes Aggregat von Mergeln, Schieferthonen und Sandsteinen zusammen, das zwar eozän, aber nur schwer von der alpinen Kreide zu trennen ist; mit ihm eng verbunden erscheint am Nordfusse der bayerischen Kalkalpen eine Brackwasserbildung, die *Molasse* (Hoher Peissenberg), welche an sich zwar jünger, als der Flysch, nämlich oligozän, durch mehrfache Stauchungen der Erdrinde (s. u.) aber mehrenteils von jener thatsächlich älteren Bildung überlagert ist. Für den bayerischen Flysch scheint durch Untersuchungen neuesten Datums der eozäne Charakter ganz ausgeschlossen werden zu müssen; diese namentlich am Fusse des Wendelsteins häufige Bildung gehört entschieden der oberen Kreide an. — An Versteinerungen ist das ganze Tertiär ziemlich reich; manche Regionen, wie z. B. das *mitteleozäne Grobkalkbecken* von *Paris*, gehören zu den berühmtesten Fundstellen. Schon die Protozoen erheischen mehr Berücksichtigung, als in anderen Formationen, wie denn der *Nummulitenkalk* vielfach ein Gebirgsbildner ist (Kressenberg und Adelholzener Hügel im bayerischen Alpenvorlande, Mokattam bei Kairo, Wüste Sahara nach *v. Zittel*). Gewisse Schnecken (*Süsswasserpulmonaten*) sind leitend für Eozän und Miozän, andere (*Paludinen*) für gewisse Schichten im oberen Tertiär. Mit einem Schlage aber sind vor allem jetzt die Säugetiere in die Reihe der Leitfossilien eingetreten. *Beuteltiere* finden sich schon im Eozän und

[1]) Eigentlich sollte man „eokän“ u. dgl. schreiben; die jetzt übliche, auch von uns angenommene Namenschreibung ist ein sachlich ungerechtfertigtes Zugeständnis an die neuere Orthographie.

zwar nicht bloss in dem südöstlichen Erdenwinkel, auf welchen sie die Jetztzeit fast ausschliesslich zurückgedrängt hat; das *Koryphodon* erscheint als Urform des modernen Pferdes; *Raubtiere* aller Arten sind ebenfalls schon frühe vorhanden gewesen, und den Dickhäutern von heute gehen die überaus schwerfälligen *Dinozeraten* Amerikas voraus. Auch die miozänen Gattungen *Dinotherium* und *Mastodon* sind den Vorläufern unserer Elefanten beizuzählen.

B. *Quartärformation* ≡ *Quartär*. Die Aussenseite der Quartärbildungen fällt mit der Erdoberfläche, wie sie gegenwärtig ist, zusammen. Die beiden Systeme, welche man im Quartär unterscheidet, sind die folgenden:

a) *Diluvium* (Zeit der grossen Gletscherentwicklung);
b) *Alluvium* oder *rezente Epoche*.

Der Umstand, dass die sogenannte *Eiszeit* in die Epoche des Diluviums fällt, zwingt uns, das letztere erst später, nämlich in dem von den Glazialerscheinungen im allgemeinen handelnden Abschnitte XV, zur Sprache zu bringen. — Die Diluvialfauna vergegenwärtigt uns die allmähliche Entstehung der modernen Tierwelt. Die *Höhlenbären*, *Höhlenlöwen*, *Höhlenhyänen* sind von unseren jetzt lebenden Bären, Löwen, Hyänen nicht durch tiefer gehende Verschiedenheiten getrennt; auch im *Mammut* sehen wir einen wirklichen Elefanten vor uns, der sich von diesem wesentlich nur durch sein dichtes, ihn zur Ertragung stärkerer Kälte befähigendes Wollkleid unterschied [1]. So gut wie sicher kann ins Diluvium, ja vielleicht sogar ins oberste Tertiär, *das erste Auftreten des Menschen* gesetzt werden [2], der sich von seinen späteren Nachkommen in keiner irgend eingreifenden anatomischen Beziehung unterschied und insonderheit auch zu den anthropoiden Affen in keinem näheren Verhältnisse stand, als dies heutzutage besteht [3]. Das sogenannte *paläolithische Zeitalter* der Menschheit möchte wohl noch in die diluviale, das *neolithische* und *Metall-Zeitalter* dagegen können nur in die spätere Epoche der Quartärperiode fallen [4].

Hiermit nun ist die Aufgabe, eine Uebersicht über den Schichten-

[1]) Bekanntlich findet man im sibirischen Fluss- und Bodeneise (S. 41) gar nicht selten wohlerhaltene Mammutexemplare, deren Fleisch sogar noch geniessbar ist. Etwa ein Viertel alles in den Handel kommenden Elfenbeines ist fossiles.

[2]) Das Zusammenleben von Mensch und Mammut galt bis vor kurzem als fest bezeugt, doch haben neuerlich namhafte Vertreter der vorgeschichtlichen Forschung, *Steenstrup* und *Wankel*, schwerwiegende Einwände gegen diese Annahme erhoben.

[3]) Gewisse Schädel, so der am Schipkapasse aufgefundene, schienen gegen die obige These zu sprechen, allein in Wahrheit hat man es da nicht mit Affenähnlichkeit, sondern mit krankhaften Missbildungen zu thun. Auch die vielfach gehegte Erwartung, in der tertiären Affenspezies *Dryopithekus* eine Uebergangsform von den Primaten unter den Affen zum Menschen zu finden, ist getäuscht worden, denn dieser Affe entfernt sich in einer ganzen Reihe von wichtigen Kennzeichen weiter als Gorilla oder Schimpanse vom Menschen.

[4]) Eine feste Grenzlinie zwischen *prähistorischem* und *geschichtlichem* Menschen existiert schon deshalb nicht, weil die Bewohner entlegener Gegenden (*Xingù-Indianer*) heute noch in paläolithischen Zuständen leben.

bau der Erdrinde zu geben, erledigt. Die Bildung von Alluvionen, Kalksinterabsätzen u. dgl. vor unseren Augen schliesst geologisch, das Erscheinen des zivilisierten Menschen schliesst paläontologisch die Stufenreihen ab, welche ihre untersten Staffeln in der paläozoischen Aera haben.

Die Formationen in ihrer geographischen Bedeutung. Dass die physikalische Geographie an der Art und Weise der Aufeinanderfolge der Schichten lebhaftes Interesse hegen muss, das ist leicht einzusehen. Am wenigsten wohl noch da, wo eine ganze Reihe von Formationen eine lückenlose, ungestörte Anordnung zeigt; solche Stellen gibt es auf der Erde, obschon nicht in allzugrosser Menge, und sie geben dem Stratigraphen Gelegenheit, die von ihm durch vergleichende Betrachtung gewonnenen Lehren durch den Augenschein zu kontrollieren. Zumal Amerika gewährt zum öfteren diese Möglichkeit; der berühmte *Cañon des Colorado* z. B., auf welchen wir in Abschnitt XVI unter einem anderen Gesichtspunkte zu sprechen kommen werden, hat eine 2000—3000 Meter dicke Felsmasse im Inneren aufgeschlossen, so dass der auf der Sohle dieses tiefen Thalrisses stehende Beobachter vom Kohlenkalk bis zum Pliozän alle Gruppen und Systeme, durchweg durch horizontale Parallelebenen voneinander getrennt, zu erkennen vermag.

Allein, wie gesagt, dies sind Ausnahmen, fast durchweg fehlen gewisse Glieder des grossen Stufenbaues. Wenn dies der Fall, so ist der Schluss gestattet: *Die betreffende Erdstelle befand sich in der Zeit, als die Sedimente des mangelnden Formationsgliedes sich bildeten, nicht unter Wasser* [1]. Sobald man also von einem Landstriche eine gute geologische Karte besitzt, vermag man sich die *Verteilung von Wasser und Land für ein gewisses geologisches Zeitalter* nachträglich zu konstruieren und den stark wandelbaren Grenzlinien nachzuspüren, welche Ozeane und Kontinente in früheren Zeiten besassen. Unsere Erfahrungen bezüglich der Glossopterisfauna z. B. legen uns den Wahrscheinlichkeitsschluss nahe (S. 89), dass in der späteren Kohlenzeit Südostasien und Südafrika einen zusammenhängenden Teil der Erdfeste ausgemacht haben. Dadurch erhält eine andere Hypothese eine neue und kräftigere Stütze, welche lediglich zoogeographische Thatsachen in plausibler Weise darzustellen unternommen hatte [2]. Um auch ein Beispiel im einzelnen durchzuarbeiten, wollen

[1]) Für die Eisperioden der Erde, deren Anzahl vielleicht eine grössere war, als jetzt noch die meisten zugestehen, gilt Aehnliches. Wenn einer älteren Erhöhung die unverkennbaren Glazialmarken fehlen, so muss man schliessen, dass zu jener der die flacheren Teile des umliegenden Landes bedeckende Eismantel nicht herangereicht habe.

[2]) Der Umstand, dass heute noch in Madagaskar dieselben *Lemuren* (Halbaffen) sesshaft sind, welche man auch in Hinterindien antrifft, veranlasste dazu, einen grossenteils versunkenen Kontinent *Lemuria* zu postulieren, der sich über einen sehr grossen Teil des Indischen Ozeanes ausgedehnt haben sollte. Von *Peschel* lebhaft verteidigt, wurde diese Hypothese, als man sich mit Recht gegen die einseitige Betonung biologischer Momente in Fragen der Morphologie wandte, fast allseitig wieder aufgegeben, allein einerseits die

wir untersuchen, wie in der früheren Tertiärzeit die Festlandmasse Europas vom Meere zerstückelt war[1]). Während der mittleren Oligozänepoche hatte das Meer seine grösste Verbreitung erreicht; das Pariser Becken war vollständig von ihm erfüllt, und es drang, wie die dortigen Sandablagerungen beweisen, nach Süden noch über Fontainebleau hinaus vor. Die jetzige Nordsee sandte eine mächtige Zunge über Kassel bis zum Mainzer Becken vor, und dieses wieder war nicht nach Süden abgeschlossen, sondern es hing mit dem süddeutschen Meerbusen zusammen, als dessen Zeugen wir die brackischen Ablagerungen der bayerischen Molasse kennen gelernt haben. Nahezu die ganze bayerische Ebene war zur Oligozän- und Miozänzeit von Salzwasser bedeckt, während, nachdem dieses sich zurückgezogen hatte, eben dieses Gebiet während der Pliozänzeit fast vollkommen trocken gelegen haben muss. Während ersterer Periode hatte dagegen Böhmen keine Meeresbedeckung mehr aufzuweisen; früher schon hatte der von Gebirgsketten umrahmte Kessel sich entleert, und das ausgedehnte Oligozänmeer war nirgendwo im stande, diese Bergwälle zu durchbrechen. Aehnlich, wie Böhmen, steht auch England da; das oligozäne Meer bedeckte von dieser Insel nur ganz wenige Stellen, denn die Süsswasserfazies drängt allda in den hier in Frage kommenden Horizonten die pelagische Fazies allenthalben zurück.

Wir sind selbstverständlich nicht in der Lage, die Meeresschwankungen der geologischen Vorzeit von Fall zu Fall zu registrieren. Von grosser Wichtigkeit aber ist für uns die in folgendem Satze formulierte Wahrheit: *In der späteren Pliozänzeit haben die Festländer der Erde im wesentlichen, von kleineren — teilweise in die geschichtliche Zeit fallenden — Grenzverschiebungen also abgesehen, diejenigen Umrisse angenommen, welche bis auf den heutigen Tag erhalten geblieben sind.*

Selbst wer somit die physische Geographie nur in der eingeschränkten Bedeutung als Oberflächenkunde angesehen wissen will, wird mit Rücksicht auf solche Erkenntnis die Stratigraphie für den notwendigen Unterbau der ersteren erklären müssen. Allein der Einfluss der Schichtenlehre hat damit noch nicht sein Ende erreicht, denn es lässt sich weiter behaupten: *Die geognostische Formation ist wesentlich massgebend für die Physiognomik der Gebirge, sowie für die Oberflächenbeschaffenheit einer Gegend überhaupt.* Das krystallinische Massengestein, Gneis, Urthonschiefer u. s. w. tritt, wenn es nicht allzu dicht von jüngeren Formationen überlagert wird, meist in Gestalt sanftgeböschter Berge und Hügel auf[2]); sanftwellig ist

paläontologischen Gründe *Blanfords* und *Waagens*, andererseits die rein geotektonischen Darlegungen von *E. Suess* scheinen darzuthun, dass jene Annahme doch einen richtigen Kern enthielt.

[1]) Diese Darstellung ist in der Hauptsache diejenige, welche *Neumayr* gegeben hat.

[2]) Betrachtet man von einem Aussichtspunkte der nördlichen Kalkalpen aus das grossartige Panorama, welches sich nach Süden darbietet, so erkennt man, ohne durch äussere Anleitung auf diesen Gegensatz hingewiesen zu sein,

auch der Charakter paläozoischer Erhebungen, wie dies vornehmlich von den rheinisch-belgischen Grenzgebirgen, soweit diese nicht einen vulkanischen Charakter tragen, bekundet wird. Granit bethätigt, zumal da, wo er direkt eruptiv aufgetreten ist, eine Neigung, steilere Hänge und kühnere Spitzen zu bilden (Hohe Tatra). Porphyr und Melaphyr treten nicht selten als langgestreckte Gebirgsbuckel auf[1]), wogegen Phonolith mit Vorliebe, wie wir bereits (S. 71) sahen, abgesetzte Kuppen bildet. Plateaus sind häufig im Jura und in der Mittelgebirgstrias, doch zeigt sich der erstere, wenn er aus Kalk oder Dolomit besteht, vielfach zerklüftet, und von den Dolomiten der Alpen ist ja diese Eigenschaft eine allbekannte[2]). Die Kreideformation scheint von der Natur dazu ausersehen, zerrissene, unzugängliche und insbesondere auch dem internen Verkehr grosse Hindernisse bereitende Gebirge zu bilden; dies lehrt deutlich genug ein Blick auf die orographischen Verhältnisse der Balkanhalbinsel[3]).

Strenge Regeln können aus leicht ersichtlichen Gründen nicht an die Stelle dieser ganz allgemeinen und im einzelnen mancher Abänderungen fähigen Gesichtspunkte treten, weil neben der Beschaffenheit einer Gesteinsart und ihrem geologischen Alter noch ein sehr wichtiger Punkt Berücksichtigung erheischt: *ob und welchen geotektonischen Veränderungen die in Betracht gezogene Erdstelle unterlag.* Mit diesen Veränderungen wird sich ein eigener Abschnitt beschäftigen.

wie ganz anders die lange, in majestätischer Einförmigkeit vor dem Beschauer sich hinziehende Kette der Zentralalpen — Hohe Tauern und Zillerthaler Berge — aussieht, als die zerklüfteten Kalkerhebungen in grösserer Nähe. Das Gneisgebirge besitzt strenge genommen nur im Grossen Wiesbachhorn einen Gipfel, dessen kühne Formen gegen seine Umgebung wesentlich abstechen, während für Grossglockner sowohl wie auch für Grossvenediger die ideale stereometrische Form der Pyramide bestimmend zu sein scheint.

[1]) In sehr augenfälliger Weise wird uns diese Thatsache durch den schönen Kessel von Bozen vor Augen gestellt, in welchem einerseits die Dolomitgruppe des Schlern, andererseits der Porphyrrücken des Mendelgebirges die Thalmulde abschliesst.

[2]) Einen Höhenpunkt, von dem sich gleichzeitig die sanftgeschwungenen Umrisse des Urgebirges (Fichtelgebirge), die plateauartigen Formen der Binnentrias (Thüringerwald) und die steilen Abfälle des Kalksteingebirges (Fränkischer Jura) erblicken und untereinander vergleichen lassen, gewähren die südlich von dem bekannten „Rennstieg“ sich erstreckenden Hügel, unweit der zu Sachsen-Meiningen gehörenden Stadt Sonneberg.

[3]) Der Karst und die Dinarischen Kalkalpen sind es, an welche man zunächst zu denken veranlasst wird. Es scheint jedoch aus den Forschungen der in Griechenland neuerdings thätig gewesenen österreichischen Geologen hervorzugehen, dass auch im Bereiche der epirotischen und albanischen Gebirge mit ihrem *Kammersysteme* die Kreideformation die vorherrschende ist.

V. Bau und Entstehung der Gebirge; Geotektonik.

Konvexe und konkave Erdräume. Jedermann weiss, dass die Abwechslung von Berg und Thal, von Hoch- und Tiefland das unregelmässige Relief der Erdoberfläche bedingt und in seiner Sonderart dieser den landschaftlichen Stempel aufdrückt. Gewisse, unabänderliche Gesetze müssen diese Gegensätze hervorgerufen haben, und diese Gesetze zu ermitteln, ist eine der schönsten, aber auch schwierigsten Aufgaben der physikalischen Geographie. Als sicher kann gelten, dass sich das Gesamtproblem wieder in zwei wesentlich von einander verschiedene Teile zerfällen lässt, und zwar können wir dieser Zweiteilung durch folgende Fassung der einschlägigen Frage gerecht werden:

Mechanische Umwälzungen grossen Stiles haben die Gebirge der Erde entstehen lassen, doch waren diese Gebirge unmittelbar nach ihrer Entstehung in Volumen und Oberflächengestalt grundverschieden von denjenigen, welche wir heutzutage auf einer in der Hauptsache unveränderten Basis sich erheben sehen. Mechanische und teilweise auch chemische Kraftäusserungen, die, an und für sich nur von geringer Intensität, durch unmessbare Zeiträume unausgesetzt im gleichen Sinne wirkten, haben die Unebenheiten der Erdoberfläche durchaus ummodelliert und Berg und Thal diejenige Gestalt erteilt, welche die Gegenwart an ihnen wahrnimmt.

Zur Behandlung des ersten Problems sind wir jetzt schon in der Lage, wenn wir uns zuvor noch die der unmittelbaren Erfahrung entnommenen Lehren der *Geotektonik*, welche die Abweichungen der Gesteinsmassen von der ihnen bei ihrer Bildung gewordenen Gestalt und Anordnung untersucht, zu eigen gemacht haben. Die Wirkungen der *Erosion* und *Denudation* dagegen, welche wir als die erwähnten umformenden Kräfte kennen lernen werden, können erst weit später, in den Abschnitten XVI und XVII, den Gegenstand sachgemässer Erörterung bilden, weil wir uns dazu erst die erforderlichen Kenntnisse vom Wesen der Luft und des Wassers verschafft haben müssen.

Wir wissen, dass die Schichten ihrer ursprünglichen Entstehung nach parallelepipedische, durch Horizontalebenen von einander getrennte Gesteinsmassen gewesen sind. Sehr häufig nun sehen wir zwar den Parallelismus der Schichtflächen gewahrt, aber die Winkel, welche diese Ebenen mit dem Horizonte einschliessen, nehmen im Gebirge willkürliche Grössen an (S. 67). Weit öfter jedoch bemerken wir an den Schichten eine *wellige Gestalt*, wie *Fig. 18* dies am besten darstellt. Um den räumlichen Verhältnissen gerecht zu werden, stellen wir uns die ganze Schichtenmasse zylindrisch vor: die Zylinderachse steht auf der Zeichnungsebene senkrecht, und die in der Figur die Schichten trennenden Wellenkurven sind die Leitlinien der Zylinderflächen; jede gegen oben konvexe Krümmungs-

stelle des Kurvenzuges nennen wir *Sattel* (*Sattelbiegung*), jede nach oben konkave Krümmungsstelle nennen wir *Mulde* (*Muldenbiegung*). Der *Sattel-* oder *Gewölbekern* wird eingeschlossen von den beiden *Sattelflügeln*, und gleicherweise strecken sich zu beiden Seiten des *Muldenkernes* die *Muldenflügel* oder *Muldenschenkel* hin. Der Ueber-

Fig. 18.



gang vom Sattel- zum Muldenflügel ist ein stetiger; ein bestimmter Punkt, wo der eine aufhört und der andere anfängt, lässt sich nicht angeben.

Die Sättel und Mulden, welche wir soeben kennen lernten, waren *symmetrisch*, und diesen Charakter büssen sie auch dann nicht ein, wenn der Zusammenhang der Sättel und Mulden bildenden Schichten mit deren weiterem Verlaufe unterbrochen ist. So verhält es sich mit dem in *Fig. 19* vorgeführten Bilde, welches einer besonderen Erläuterung kaum bedarf. Andererseits kann es aber auch *schiefe Sättel* und ebensolche *Mulden* geben. Eine der letzteren sehen wir in *Fig. 20* vor uns; die Linie *a b*, welche die tiefsten Punkte der gebogenen oder geknickten Schichten miteinander verbindet, bildet hier schiefe Winkel mit dem Horizonte, während sie auf diesem, wenn die

Fig. 19.

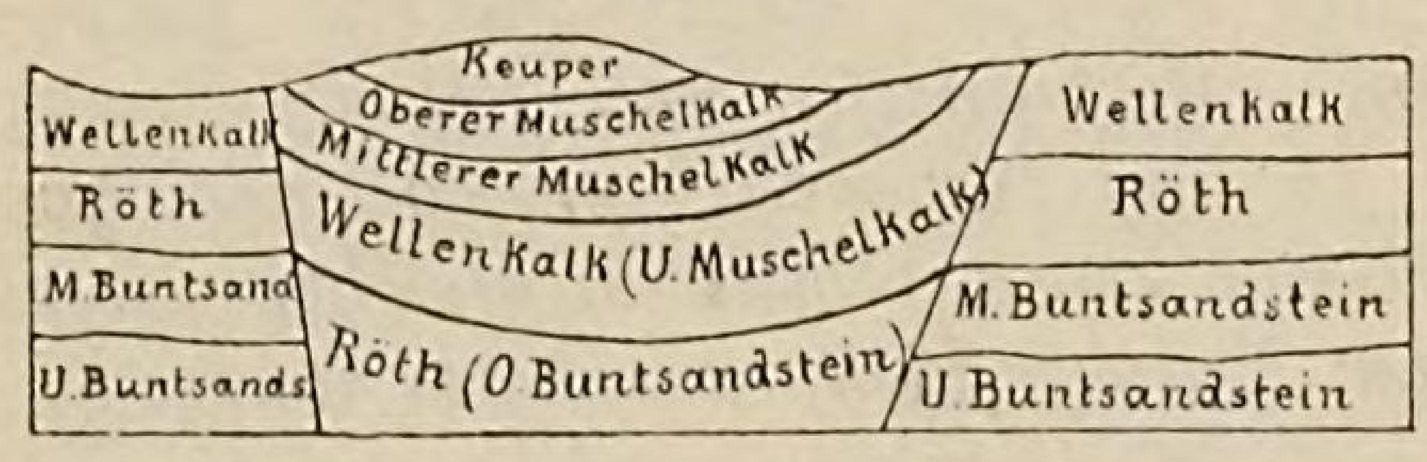
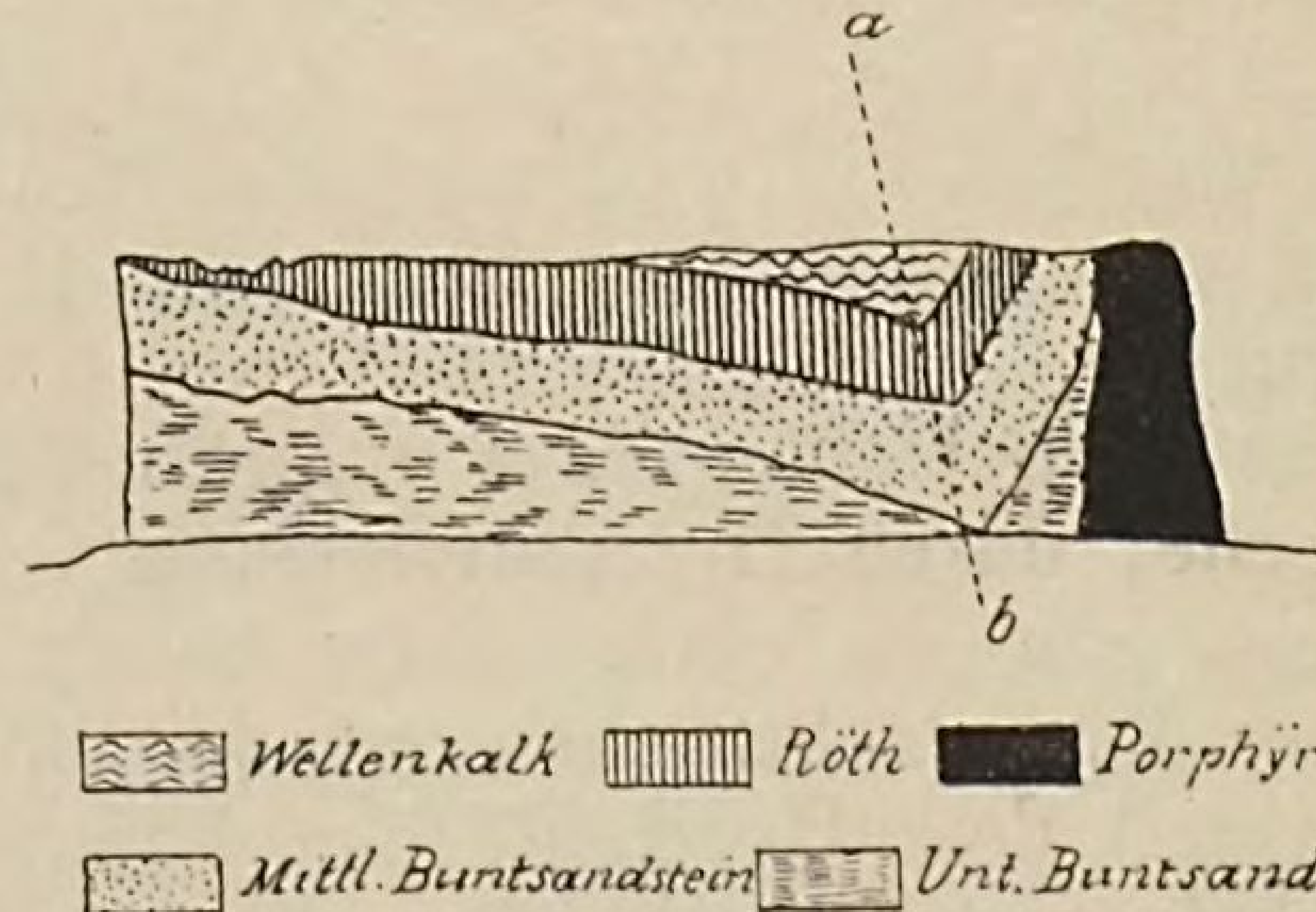


Fig. 20.



Mulde eine symmetrische wäre, senkrecht stehen würde. Man hat es hier nicht mit einem willkürlich entworfenen Schema zu thun, sondern es entspricht diese Skizze einer Mulde wirklich einer geognostischen Aufnahme, welche *v. Fritsch* in der Nähe von Halle a. S. gemacht hat. Den extremsten Fall der schiefen repräsentiert die

liegende Mulde; hier verläuft der eine Muldenschenkel vollkommen horizontal. Ein Sattel mit seinen zwei nächstanliegenden Mulden bildet in geotektonischem Sinne eine *Falte.* Statt des Wortes Mulde ist wohl auch *Synkline* und ebenso statt des Wortes Sattel *Antikline* im Gebrauche.

Nachdem wir so wenigstens die Anfänge der für uns notwendigen Terminologie uns angeeignet haben, können wir der *Gebirgsbildung* selbst näher treten. Zwei Theorien treten am meisten in den Vordergrund, obwohl es keineswegs an anderweiten Versuchen der Erklärung fehlt. Die eine dieser Theorien hat allerdings nur noch historische Bedeutung, allein sie hat zu ihrer Zeit auf die Wissenschaft einen so tiefgehenden Einfluss ausgeübt, dass wir uns ihrer Besprechung nicht entschlagen dürfen.

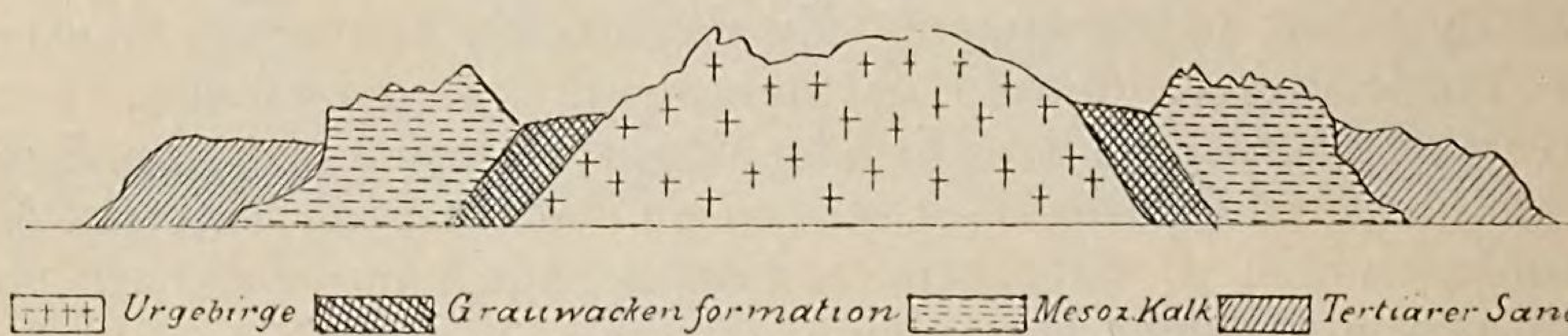
Die Erhebungstheorie. Nachdem man die Ueberzeugung gewonnen hatte, dass *Werners* Neptunismus die verwickelten Verhältnisse in einer Anzahl von Gebirgen, deren Kenntnis den deutschen Geologen gefehlt hatte, absolut nicht befriedigend zu erklären vermöge, neigte man sich um so bereitwilliger der wesentlich durch *A. v. Humboldt*, *L. v. Buch* und *Elie de Beaumont* vertretenen *Erhebungstheorie* zu. Kurz zusammengefasst, ist die Quintessenz dieser Lehre etwa folgende: *Nachdem gewisse Schichtenfolgen in der uns bekannten Weise sich gebildet hatten, entstanden unterhalb derselben Sprünge in der Erdkruste; durch diese drangen die glutflüssigen Massen des Erdinneren hervor, durchbrachen das Schichtgebirge und bildeten einen die Form der Spalte nachahmenden Erguss, der nach und nach erstarrte und also entweder ein Längsgebirge oder eine vulkanische Kuppe lieferte. Die benachbarten Schichten aber wurden beim Durchbruche mit emporgerissen, gebogen, gebrochen und eben in jene mannigfaltigen Formen gebracht, mit denen uns die Geotektonik bekannt macht.*

Zumal unsere Alpen schienen dazu geeignet, die Lehren der Erhebungstheoretiker zu bestätigen, welche bald auch dazu übergingen, zwischen den verschiedenen Sprungsystemen, welche sie in der Erdrinde nachweisen zu können glaubten, geometrische Beziehungen auszumitteln [1]). Man legte sich den Bau des grössten europäischen Kettengebirges in der Weise zurecht, wie es *Fig. 21* ersehen lässt. An den zentralen Zug des Urgebirges, so glaubte man, lehne sich zu beiden Seiten eine schmale Zone von sehr altem

[1]) Diesem Phantasiegebilde, denn anders kann man es in unserer Zeit wohl kaum bezeichnen, hat hauptsächlich *Elie de Beaumont* grosse Opfer gebracht. Es stand für ihn fest, dass die Längsachsen der grossen Erdgebirge mit einem grössten Kreise der Erdkugel zusammenfallen müssten; demgemäss dachte er sich letzterer ein regelmässiges Dodekaeder (12 Flächen, deren jede ein reguläres Fünfeck ist) einbeschrieben und suchte darzuthun, dass die grossen Sprünge, durch welche hindurch das Magma seinen Austritt genommen, mit den Hauptkreisbogen identisch seien, in welchen die durch das Zentrum und die Kanten des Polyeders gelegten Ebenen die Kugelfläche durchsetzen. Seine Anschauungsweise noch verfeinernd, ersetzte er zuletzt das ursprüngliche Dodekaeder durch einen Hundertundzwanzigflächner.

Sedimentgesteine mit stark gegen den Horizont geneigten Schichten; diese Zone werde nach aussen zu von Parallelketten aus Alpenkalk begrenzt, und von diesen Ketten aus verlaufe das niedrige tertiäre Hügelland allmählich gegen die Ebene. Kurz, man vermeinte in der Struktur der Alpen eine *ausgesprochene Symmetrie* nachweisen

Fig. 21.



zu können, und wenn diese vorhanden war, so konnte man sich auch denken, dass die durch Vertikaldruck von unten in die Höhe gepressten feuerflüssigen Massen, welche nachmals zu krystallinischen Massen erstarrten, die auflagernden Decken von paläo-, meso- und känozoischen Felsen zuerst zersprengt und nachher auf die Seite gedrängt hatten.

In dem Masse, als die geologische Durchforschung der Alpen weitere Fortschritte machte, musste sich das Unbegründete dieser Auffassung herausstellen. Die Lagerung der grossen Längsketten, aus welchen das ganze Gebirge sich zusammensetzt, ist nicht annähernd eine so symmetrische, wie vorausgesetzt worden war. Jener Streifen silurisch-devonischer Gesteine, welcher allerdings vom Zillerthale an bis Graz dem Zuge der Zentralalpen sich vorlagert, fehlt auf deren Südseite so gut wie ganz, und auch die Kalkalpen sind im Süden ganz anders angeordnet, als im Norden. In der Gegend von Como hört, wenn man vom Osten herkommt, der Kalkgürtel ganz auf, so dass die aus Urfels bestehenden Penninischen und Kotti-Alpen sich ganz unvermittelt aus quartären oder doch nur tertiären Bildungen erheben. Diese Beobachtungen und nicht minder die wachsende Erkenntnis, dass das Streichen und Fallen der Schichten vielfach ein ganz anderes sei, als es von der Durchbruchshypothese gefordert wird, führten endlich dazu, mit dieser, soweit die Alpen in Betracht kamen, gänzlich zu brechen.

Ganz allgemein verlassen musste dieselbe auch deshalb werden, weil sie sich durchaus unvermögend erwies, die verwickelten Verhältnisse, welche in der Anordnung und Gestaltsveränderung der Schichten an den verschiedensten Orten zu Tage traten, verständlich zu machen. Schon die gewöhnliche symmetrische Faltung, welche uns die *Fig. 18* kennen lehrte, vermochte die ältere Lehre nur ziemlich gezwungen zu interpretieren: man musste annehmen, dass die Pressung von unten nicht stark genug gewesen sei, um die Decke zu durchbrechen, dass sie unter jeder Sattelbiegung ein relatives Maximum, unter jeder Muldenbiegung ein relatives Minimum gehabt habe. War dies schon äusserst unwahrscheinlich, so steigerten sich die Unmöglichkeiten noch, wenn man alle die komplizierten

geotektonischen Beziehungen, welche uns im Verlaufe dieses Abschnittes noch entgegentreten werden, lediglich auf die Reaktionen einer internen Glutmasse gegen eine umschliessende starre Rinde zurückzuführen suchte.

Heutzutage ist die Anzahl der Fachmänner, welche unverbrüchlich an der *Humboldt-Buch*schen Theorie der Gebirgsbildung festhalten, nur noch eine geringe. Immerhin hat man sich auch in weiteren Kreisen überzeugt, dass für gewisse Vorkommnisse ein wahrer Kern in jener steckt, und der dem Vulkanismus gewidmete Abschnitt VII wird uns zeigen, dass Durchbrüche der geschilderten Art allerdings auf der Erde vorgekommen sind und wohl auch noch vorkommen, nur freilich nicht in der Ausdehnung, welche man ehemals solchen Ereignissen zuschrieb.

Die Kontraktionstheorie. Dem gegenüber war schon in verhältnismässig früher Zeit eine andere Auffassung der primären Gebirgsentstehung hervorgetreten. Dem Berliner Geologen *C. S. Weiss* fiel es auf, dass an manchen Stellen (S. 94) Urgebirgs- und alte Schichtgesteine oberhalb jüngerer Sedimente lagerten; von Anfang an konnte, wenn nicht alle hinsichtlich des relativen Alters der Gesteine gewonnenen Einsichten hinfällig sein sollten, dieses Verhältnis nicht das normale gewesen sein: *es musste vielmehr eine mit grosser mechanischer Gewalt bethätigte Ueberschiebung der älteren über die jüngeren Gesteine stattgefunden haben.* Von ähnlichen Erwägungen ausgehend, regte der französische Bergmann *Cordier*, *Humboldts* Freund, die Frage an, ob nicht vielleicht die fortschreitende Verkleinerung des Erdballes als die Grundursache der Unregelmässigkeiten der Erdoberfläche zu betrachten sei. Wahrscheinlich auf Grund seines Umganges mit *Cordier* hat *A. v. Humboldt* im „Kosmos“ dieser Anschauung Erwähnung gethan, ohne ihr jedoch weitere Folge zu geben, und ein anderer deutscher Forscher, der sich in dieser Hinsicht ein ziemlich fertiges System gebildet hatte, konnte zeitlebens nicht dazu bewogen werden, mit grösseren Veröffentlichungen darüber hervorzutreten. So ist der Name *Schimper* in der Geschichte der dynamischen Geologie leider so gut wie unbekannt geblieben [1]).

Diejenigen Fachleute, die sich um die Begründung der von uns als *Kontraktionstheorie* zu bezeichnenden Lehre das meiste Verdienst erwarben, sind der Amerikaner *Dana,* die Schweizer *Heim* und *Favre,* die Oesterreicher *Suess* und *v. Mojsisovics* und der Franzose

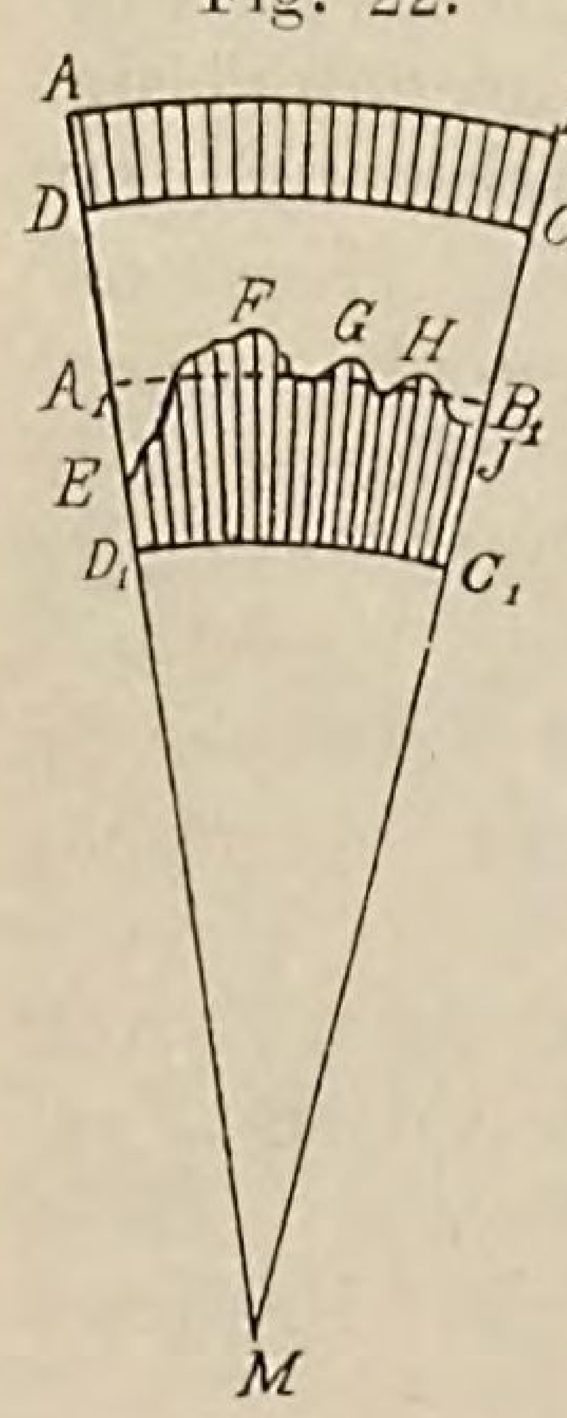
[1]) *Volger* hat in den letzten Jahren mit warmer Pietät die Prioritätsrechte *Schimpers* für diesen seinen längst verstorbenen Freund in Anspruch genommen, ist aber dabei wohl auch seinerseits zu weit gegangen. Erstens ist *Schimper* doch für seine übertriebene Bescheidenheit selbst verantwortlich zu machen, zweitens war er thatsächlich nicht der erste, der sich der Erhebungstheorie entgegenstellte, drittens endlich hat er seine gesunden Reformideen mit manchen anderen Vorstellungen vermengt, in denen zwar *Volger* den eigentlichen Kern jener erblickt, die aber sonst auf keine Billigung mehr rechnen dürfen.

Daubrée. Der letztere hat namentlich auch gewisse Versuche, welche schon früher die Engländer *Hutton* und *Hall* angestellt, *Favre* und *Pfaff* vervollständigt hatten, neu variiert und durch diese, wie wir gleich nachher sehen werden, wesentlich dazu beigetragen, die in Rede stehende Theorie sowohl fester zu begründen, als auch ganz besonders zu veranschaulichen.

Mit der Sache selbst hat es folgende Bewandtnis. Wenn die in Abschnitt I näher erörterte Hypothese von der allmählichen Erstarrung der einzelnen Weltkörper auch nur in den Grundzügen richtig ist, so müssen wir annehmen, dass auch unsere Erde unaufhörlich kleiner wird. Der Umstand, dass diese Volumverminderung in den paar tausend Jahren der Menschengeschichte nicht weit genug gediehen ist, um sich in einer Beschleunigung der Erdrotation (S. 1) zu manifestieren, kann die Richtigkeit unserer theoretischen Folgerung nicht ernstlich gefährden. Damals, als in der Tertiärperiode [1]) die grossen Kettengebirge unserer Erde entstanden, kann der Sterntag sehr wohl etwas länger gewesen sein, als jetzt; an einen grossen Zeitunterschied braucht man durchaus nicht zu denken, denn es wird sich ergeben, dass die Beträge, um welche eine Kontraktion, die gewaltige Veränderungen im Erdrelief zuwege brachte, den Erdhalbmesser verkleinerte, über Erwarten geringfügig gewesen sind.

Wir denken uns einen kegelförmigen Kugelsektor der Erdkugel, der seine Spitze im Zentrum M (*Fig. 22*) hat, und dessen Basis die Kalotte AB bildet; dann fassen wir ein Stück Erdrinde ins Auge, welches von AB und einer an Gestalt ähnlichen, aber kleineren Kalotte CD einer konzentrischen Kugelfläche vom Radius $MC = MD$, im übrigen aber von der Wandung jenes Kugelsektors begrenzt ist. Es bestehe allenthalben Gleichgewicht, und die Beschaffenheit des Rindenstückes $ABCD$ sei eine solche, wie sie bei ungestörter Sedimentbildung sein muss. Von irgendwelcher Unebenheit der Oberfläche AB ist keine Spur vorhanden. Nun trete eine plötzliche Zusammenziehung ein, so dass aus den Radien MA und MB der bisherigen grösseren die Radien MA_1 und MB_1 der nunmehrigen kleineren Kugel werden. Die Kalotte A_1B_1 ist dann natürlich auch kleiner als AB geworden; *die längs dieser Kalotte angehäufte Masse findet auf* A_1B_1 *keinen Platz mehr.* Wenn die gesamte Gesteinsmasse, welche innerhalb des Rindenstückes $ABCD$ untergebracht war, von neuem mit einfach sphärischen Grenzflächen A_1B_1 und C_1D_1 sich anordnen soll,

Fig. 22.



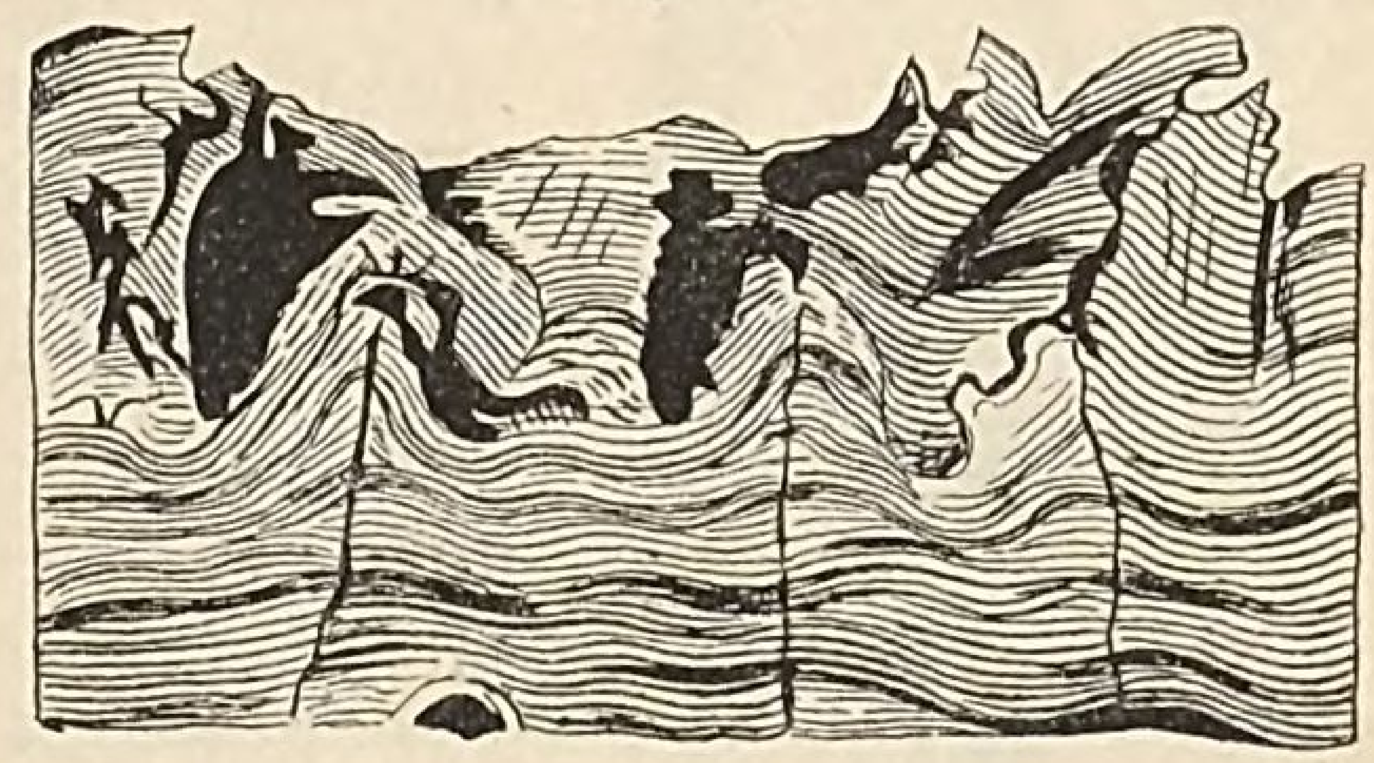
[1]) Die gebirgsbildende Thätigkeit, als deren Endergebnis wir das mächtige Gebäude der Alpen vor uns sehen, muss, wenigstens soweit deren östlicher Teil in Frage kommt, bereits in der Kreidezeit ihren Anfang genommen haben, doch fällt die Hauptfaltung erst in die ältere Tertiärperiode.

so muss an die Stelle von $ABCD$ ein analoger Raum $A_1 B_1 C_1 D_1$ treten; dann ist selbstredend $A_1 D_1 = B_1 C_1 > AD = BC$. Dass jedoch eine solche Zusammenschiebung der Felsmassen eintreten sollte, ist im allerhöchsten Masse unwahrscheinlich; in Wirklichkeit werden die heftigsten Störungen des inneren Gleichgewichtes, des molekularen Zusammenhanges den so jäh eintretenden Akt der Zusammenziehung begleiten, und der Körper $ABCD$ wird in Wahrheit durch einen Körper $EFGHJC_1 D_1$ ersetzt werden, der mit $ABCD$ und $A_1 B_1 C_1 D_1$ gleichen kubischen Inhalt hat, dessen Oberfläche dagegen eine sehr unebene und rauhe ist.

Runzelung und Fältelung sind die notwendigen Konsequenzen einer jeden Zusammenziehung, da eine gewisse Masse, die eine gegebene Oberfläche gerade ausfüllte, nunmehr auf einer kleineren Oberfläche Platz finden soll.

Es leuchtet ein, dass diese Thatsache durch das Experiment leicht zu bewahrheiten ist. Schon das bekannte Beispiel einer vertrocknenden Frucht spricht in unserem Sinne deutlich genug; die Schale wird in diesem Falle, wenn das innere Fleisch seine Rundung verliert, von diesem nicht mehr gehörig getragen, sinkt da und dort ein und bedeckt sich mit Unebenheiten, die in mikroskopischer Verkleinerung eine gewisse Aehnlichkeit mit den Erdgebirgen bekunden. Sehr ansprechend ist auch der nach *Favre* benannte Versuch, welchem *Fig.* 23 zur Versinnlichung dient. Ein rechteckiger Gummistreifen wird so lange gespannt, bis die Elastizitätsgrenze nahezu erreicht ist, und in diesem Zustande wird er mit Thon belegt, so dass letzterer eine rechtwinklig-parallelepipedische Schicht, analog den Gesteinssedimenten der Erdkruste, bildet. Nachdem der feuchte Thon hart geworden, hebt man plötzlich die bislang bestandene Spannung auf; das Gummiband zieht sich jäh zusammen und die Thonbelegung wird, weil sie nun mit einemmale auf eine kleinere Basisfläche beschränkt wird und also nach der dritten Dimension hin ausweichen muss, in eine wirre, an Rissen, Brüchen und Faltungen, wie die Figur zeigt, reiche Masse verwandelt.

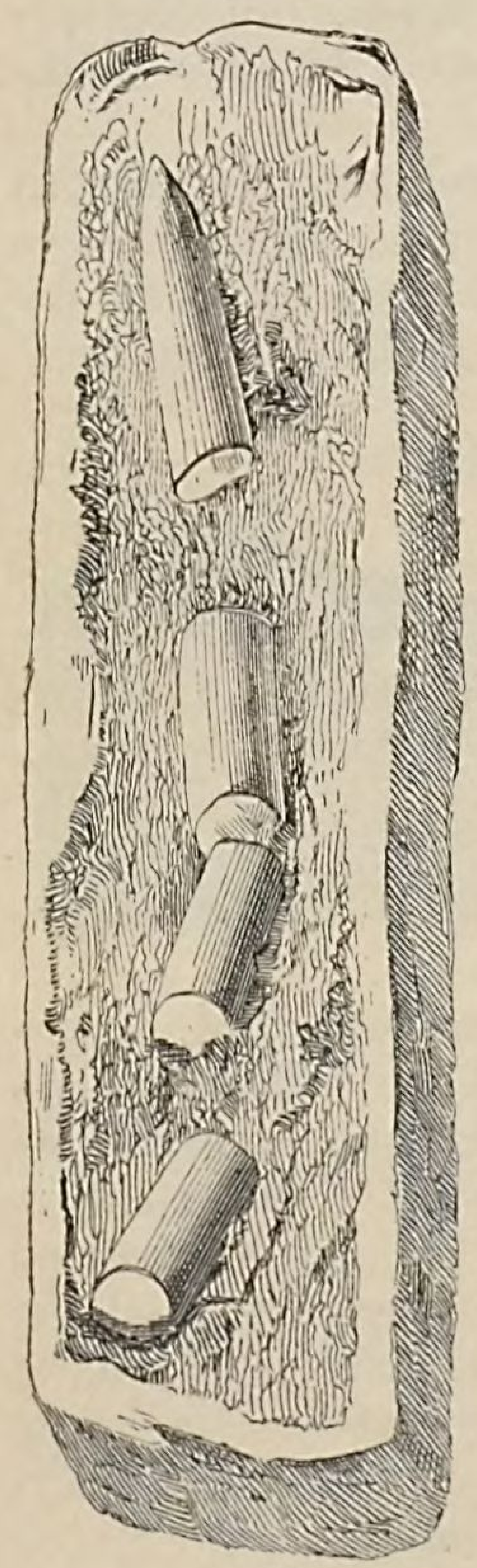
Fig. 23.



Man hat gegen diese Veranschaulichung des Kontraktionsvorganges eingewendet, der Vergleich hinke, denn die Erde habe keine ebene, sondern eine gekrümmte Oberfläche. Kann auch dieser Einwurf nicht als ein sehr gefährlicher anerkannt werden, so ist doch nicht zu leugnen, dass ein anderer Versuch die wahren Verhältnisse noch treuer wiedergibt. Man nimmt eine Hohlkugel von Kautschuk, bläst sie auf und versenkt sie in diesem Zustande in ein Gefäss mit irgend einem dickflüssigen Inhalte. Die Kugel überzieht sich mit einer gleichmässig dicken Decke, welche nachher erstarrt. Sowie letzteres eingetreten, lässt man die Luft aus dem

Inneren der Kugel langsam ausströmen; dies hat zur Folge, dass eine Kontraktion der Hülle eintritt, und diese gibt dann Gelegenheit, den Vorgang der Gebirgsbildung im kleinen sich abspielen zu sehen. In allerneuester Zeit haben *Daubrée* und *Sauvageot* die Versuchsanordnung noch erheblich vervollkommnet. Durch geeignetes Aufkleben von Scheiben aus vulkanisiertem Kautschuk auf eine Hohlkugel aus gleichem Materiale erreichten sie es, dass die Wand, wenn ein Druck von innen erfolgte, sich ungleichförmig ausdehnte, und der kugelförmige Ballon verwandelte sich so in ein Sphäroid, dessen Abplattung mit der Stärke des Druckes fortwährend zunahm. Dieser letztere wurde durch Wasser bewirkt, welches man in den Ballon hineinpumpte. Als Ueberzug dienten verschiedene Stoffe: Gips, Siegellack, Bienenwachs, Paraffin, welche beiden letzteren sich am besten bewährten. Die Dicke der künstlichen Rinde wechselte zwischen $\frac{1}{250}\,r$ und $\frac{1}{500}\,r$, unter r den Radius der Kugel, wie sie anfänglich war, verstanden. Sobald man dann das eingelassene Wasser tropfenweise wieder ausfliessen liess, zeigten sich zuerst Risse parallel dem Aequator; deren Kanten richteten sich allmählich auf, es traten Falten und Ueberschiebungen auf, wie denn auch bruchlose Wölbungen mehrfach beobachtet wurden. Es wird Sache der Geologen sein, diese Versuche noch mehr zu variieren und die Detailresultate mit den von der Natur dargebotenen Vorkommnissen zu vergleichen. — Von *Reyer*, der überhaupt zahlreiche neue Gedanken in die experimentelle Geologie hineingetragen hat, wird zur Kontrollierung des Faltungsprozesses folgender Versuch vorgeschlagen. Man operiere mit einem plastischen Schichtensysteme, auf dessen ebener Oberfläche ein Netz aus quadratischen Massen verzeichnet ist; an den Kreuzungspunkten werden vertikale Löcher eingestossen, und diese werden mit einem Farbstoffe gefüllt. Dann wird das System beliebigen Gestaltsveränderungen unterworfen; die horizontalen und vertikalen Teilstriche erleiden dadurch Deformationen, welche man nunmehr messend zu verfolgen in der Lage ist.

Fig. 24.



Für die gewaltigen inneren Veränderungen, welche der Kontraktionsprozess mit sich bringt, spricht weiterhin auch der Umstand, *dass man mitunter Versteinerungen findet, welche die Zeichen von Dehnung, Streckung und Bruch deutlich an sich tragen.* Da die Fossilien meist mit den Schichten, in denen sie sich finden, zu einem

kompakten Ganzen verwachsen sind, so können wir diese jedenfalls erst nach dem Festwerden der Schichten eingetretene Zerstörung einzig auf die Pressungen und Zerreissungen zurückführen, welche in der sich zusammenziehenden Erdkruste nicht ausbleiben konnten. Auch nach dieser Seite hin sind von *Daubrée* beweiskräftige Experimente angestellt worden; *Fig. 24* stellt einen künstlich zerstückten Belemniten dar, dessen Bruchstücke im Versuche sich ganz ebenso gelagert haben, wie man es auch in der Natur angetroffen hat.

Wir glauben somit einen Schlüssel für die Geheimnisse gefunden zu haben, welche der metamorphosierte Schichtenbau der Erdrinde dem Forscher darbietet. Immerhin aber ist unsere Erkenntnis doch vorerst noch eine oberflächliche, denn wir haben die geotektonischen Beziehungen, die Art der Schichtstörungen, den eigentümlichen Wechsel von konvexen und konkaven Erdstellen noch nicht näher kennen gelernt. Erst wenn dies geschehen, wird es sich empfehlen, auf die allgemeinen Fragen zurückzukommen.

Allgemeines über die Geometrie der Schichtstörungen. Sobald man von den Ursachen absieht, welche aus den Sedimenten, wie sie sich vor unvordenklicher Zeit aus dem die Erde überdeckenden Wasser niederschlugen, die gegenwärtig so gewaltig veränderten Gesteinslagen werden liessen, wird das Problem, die verschiedenen Erscheinungsformen der letzteren zu studieren, ein solches der Morphologie oder, wenn man will, der Geometrie. In der Mehrzahl der Fälle reicht man sogar mit der ebenen Geometrie aus. Man kann dann die folgende sehr allgemeine Fragestellung wählen:

Gegeben ist ein System[1]) *paralleler grader Linien. Es sollen alle die möglichen Formen angegeben und beschrieben werden, in welche dieses System gebracht werden kann, je nachdem gewisse Bedingungen der Aenderung aufgestellt werden.*

Um nicht die Fühlung mit der Wirklichkeit einzubüssen, sollen nur solche Transformationen in Betracht gezogen werden, für welche bereits eine *geotektonische Fachbezeichnung* existiert, und für welche, wenn nötig, *der physikalischen Geographie entnommene Beispiele* beigebracht werden können. Die Terminologie soll diejenige sein, welche *Heim* und *De Margerie* zum erstenmale einheitlich durchgeführt haben, doch soll aus der Vielheit der formalen Möglichkeiten, welche diese Autoren uns zu unterscheiden lehrten, nur das unbedingt Notwendige hier einen Platz finden.

Im wesentlichen lassen sich nun vier Hauptbedingungen unterscheiden, denen die zu Grunde gelegte Parallelenschar bei den mit ihr vorzunehmenden Abänderungen zu genügen hat. Es sind die nachstehenden:

I. Wahrung der Gradlinigkeit, des Parallelismus und des Zusammenhanges[2]);

[1]) Statt des Wortes System gebrauchen wir auch das gleichbedeutende *Schar*.

[2]) Damit soll gesagt sein, dass eine bestimmte Linie des ursprünglichen

II. Wahrung der Gradlinigkeit und des Parallelismus[1]) *mit alleiniger Aufgabe des Zusammenhanges;*

III. Wahrung des Parallelismus und des Zusammenhanges mit alleiniger Aufgabe der Gradlinigkeit;

IV. Wahrung der Gradlinigkeit und des Zusammenhanges mit alleiniger Aufgabe des Parallelismus.

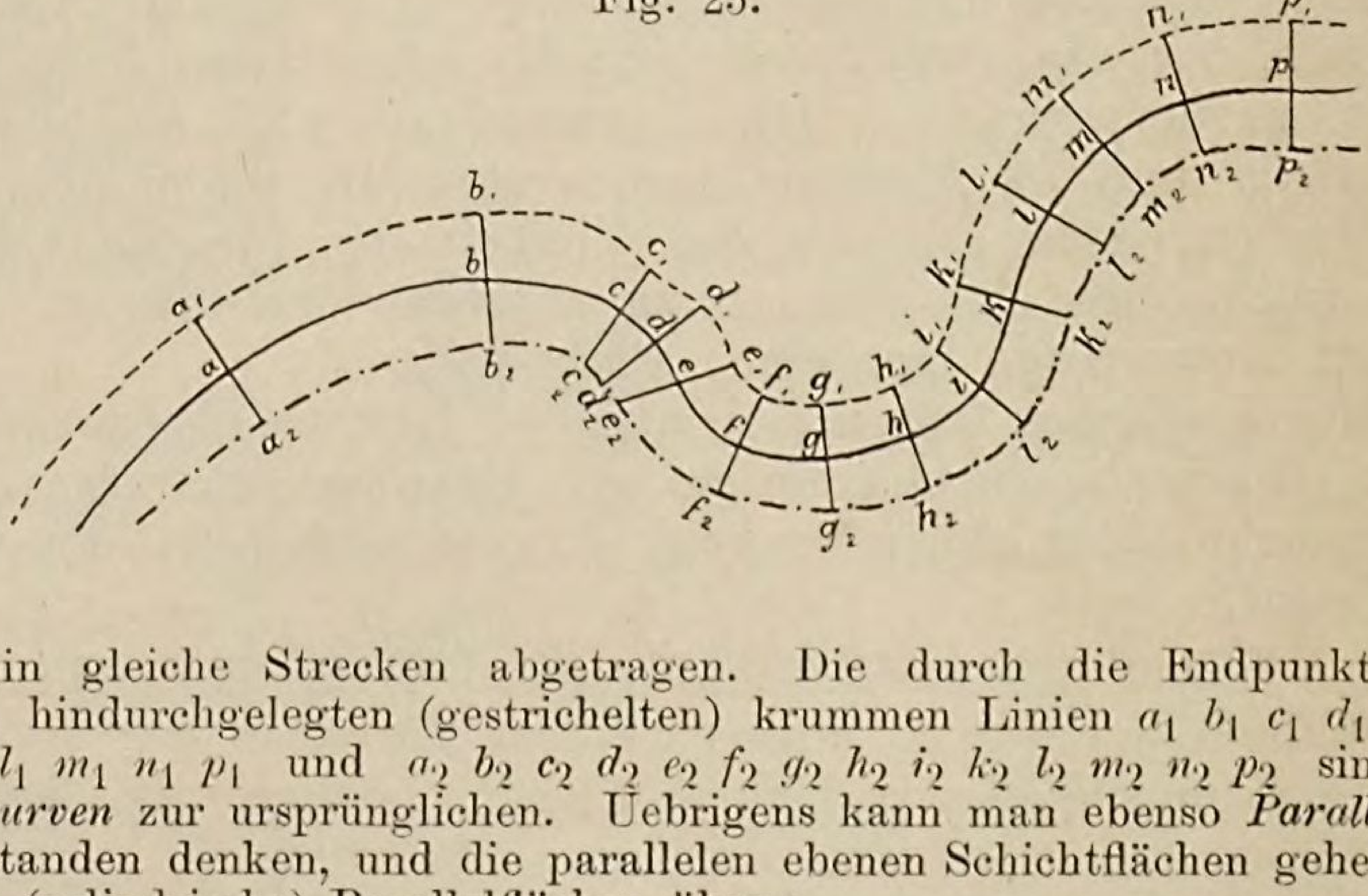
Diese Zusammenstellung thut deutlich genug dar, dass mit den angeführten vier Bedingungen die *gesetzmässigen Transformationen* erschöpft sind. In der That begnügt sich auch die Natur mit denselben fast ausschliessend, und die Fälle, in denen zur Aufklärung der Schichtenanomalien stereometrische Vorstellungen zu Hilfe genommen werden müssen, treten vergleichsweise selten ein.

Diejenigen Schichtentranslokationen, welche unserer ersten Abteilung entsprechen, können keine anderen als *Drehungen* sein. Infolge der nicht ganz gleichförmigen Zusammenziehung der Fläche, auf welcher ein vorher ganz ungestörter Schichtenkomplex aufruht, sinkt eine Seite desselben, während auf eine andere ein Druck ausgeübt wird. So kann die Schichtenfolge, die im übrigen ganz so bleibt, wie sie vorher war, eine Drehung bis zu 90° und darüber hinaus erfahren. Wer sich auch nur ein wenig in einem geschichteten Gebirge umgesehen hat, wird aus eigener Erfahrung genug Beispiele anführen können, in welchen der Fallwinkel von Null abwich. Stimmt der Fallwinkel annähernd mit dem Steigungswinkel eines Berghanges überein, so hat man *rechtsinnische*, im anderen Falle *widersinnische Schichtenlagerung*. Wenn Schichtensysteme verschiedener Gesteine parallel einfallen, so sind die *Schichten kon-*

Systemes niemals in zwei oder mehr vollständig von einander getrennte Teile zerfallen darf.

[1]) Dieser Begriff lässt sich auch auf Kurven ausdehnen. In *Fig. 25* ist eine solche ausgezeichnet; in den ihr angehörigen Punkten a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m, n, p sind die Normalen gezogen, und auf diesen sind nach beiden

Fig. 25.



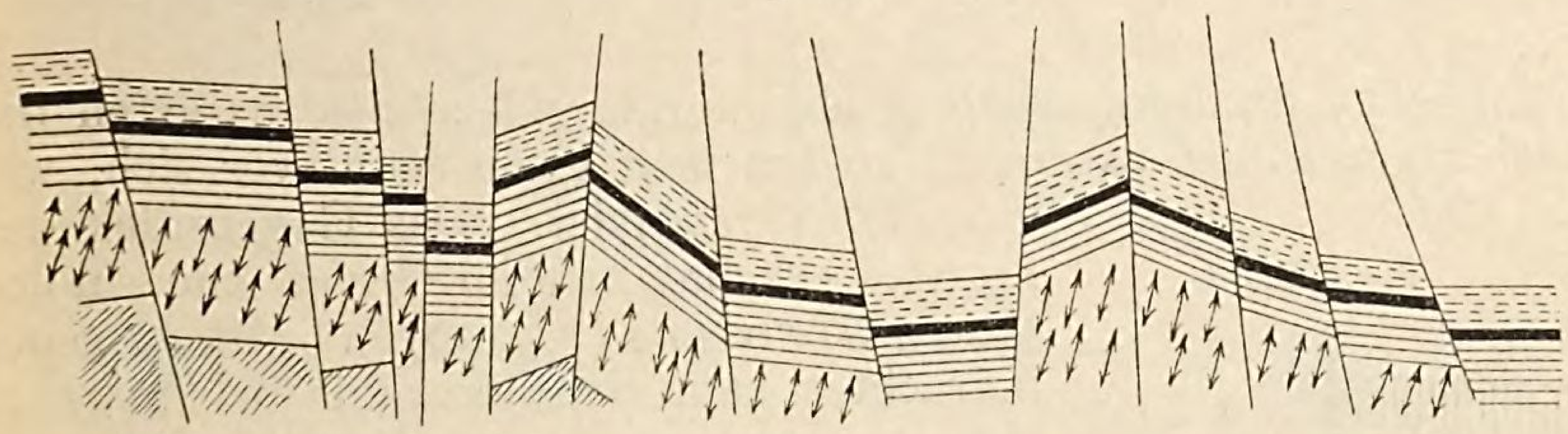
Seiten hin gleiche Strecken abgetragen. Die durch die Endpunkte dieser Strecken hindurchgelegten (gestrichelten) krummen Linien a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1 g_1 h_1 i_1 k_1 l_1 m_1 n_1 p_1 und a_2 b_2 c_2 d_2 e_2 f_2 g_2 h_2 i_2 k_2 l_2 m_2 n_2 p_2 sind dann *Parallelkurven* zur ursprünglichen. Uebrigens kann man ebenso *Parallelflächen* sich entstanden denken, und die parallelen ebenen Schichtflächen gehen in gekrümmte (zylindrische) Parallelflächen über.

kordant, und *diskordant* sind sie, wenn ihre Fallwinkel an Grösse namhaft von einander abweichen.

Verwerfungen. Wir denken uns in unsere Parallelenschar beliebige Schnitte gemacht, senkrechte sowohl, wie solche, welche die Linien unter schiefem Winkel treffen. Längs einer solchen Schnittlinie führen wir den einen der beiden Teile hin, erteilen ihm auch wohl während der Verschiebung eine Drehung, welche sich jedoch, wie es die unter II aufgestellte Bedingung verlangt, auf sämtliche Bestandteile des abgetrennten Stückes gleichmässig erstreckt. Wird dieses geometrische Verfahren auf Schichten übertragen, so entspricht jeder der genannten Trennungslinien eine *Spalte* oder *Verwerfungskluft*, und der Prozess der Verschiebung führt zur *Verwerfung*.

Durch *Fig. 26* wird uns eine Verwerfung in sehr allgemeiner und grossartiger Form vergegenwärtigt (*Treppenverwerfung*). Man kann jede einzelne Schicht, für die immer eine besondere Bezeichnung gewählt ist, durch das ganze zerklüftete Rindenstück hindurch

Fig. 26.



verfolgen. Dieses selbst ist durch die Sprünge in eine Anzahl von *Schollen* zerlegt, welche dann, wenn sie sich in Vertikalbewegung befinden, wieder als *Hub-* und *Sinkschollen* unterschieden werden können. Die Vertikalentfernung zweier zusammengehöriger, durch die Verwerfung aus ihrem Zusammenhange herausgebrachter Schichtteile ist die *Sprunghöhe*. Man begreift, dass für den Bergmann Vertrautheit mit den Verwerfungen eine sehr wichtige Sache ist. Gesetzt, die in *Fig. 26* schwarz gezeichnete Schicht sei mit abbauwürdigen Mineralien erfüllt, so tritt an jenen die Notwendigkeit heran, die Fortsetzung der zerbrochenen zu finden. Zum Glücke sind die Verhältnisse zumeist einfacher gelagert, als es unsere Vorlage wiedergibt, doch kommen in der That auch solche und selbst noch verwickeltere Verwerfungen vor, zumal, wenn sich zu diesen noch Faltungen hinzusetzen. Sowohl die belgischen als auch die böhmischen Steinkohlengruben bieten in nur allzu reicher Menge Beispiele dieser Art dar. Wenn die durch die Verwerfungsspalte getrennten Schichtteile nach wie vor parallel geblieben sind, so ist die Auffindung der Fortsetzung erleichtert. Man spricht von einem *Wechsel*, wenn die Wechselwinkel, welche die parallelen Graden mit der Trennungslinie bilden, spitze sind, und wenn diese stumpf

werden, so hat man, bergmännisch gesprochen, einen *Sprung* vor sich. Die Begriffe *hangender* und *liegender Flügel* sind an sich klar; durch Drehung des einen Flügels und nachherige Parallelverschiebung längs der Dislokationsspalte kann man stets (im geometrischen Bilde) den gradlinigen und lückenlosen Zusammenhang beider Flügel wiederherstellen. Wenn der hangende Flügel sich ganz in der Lage befindet, welche er von Anfang an eingenommen hatte, so wird gesagt, der liegende Flügel sei *abgesunken*.

Gewisse besondere Vorkommnisse bedürfen ebenso einer besonderen Beachtung. Wenn eine Schichtgruppe intakt in ihrer ur-

Fig. 27.

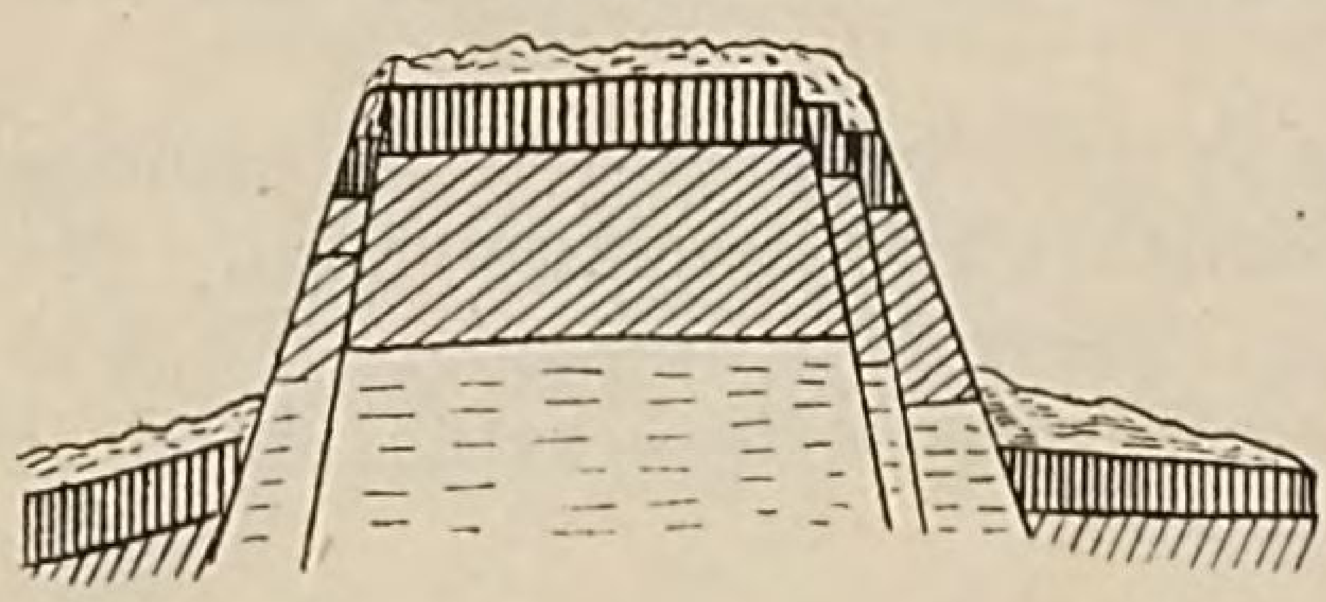
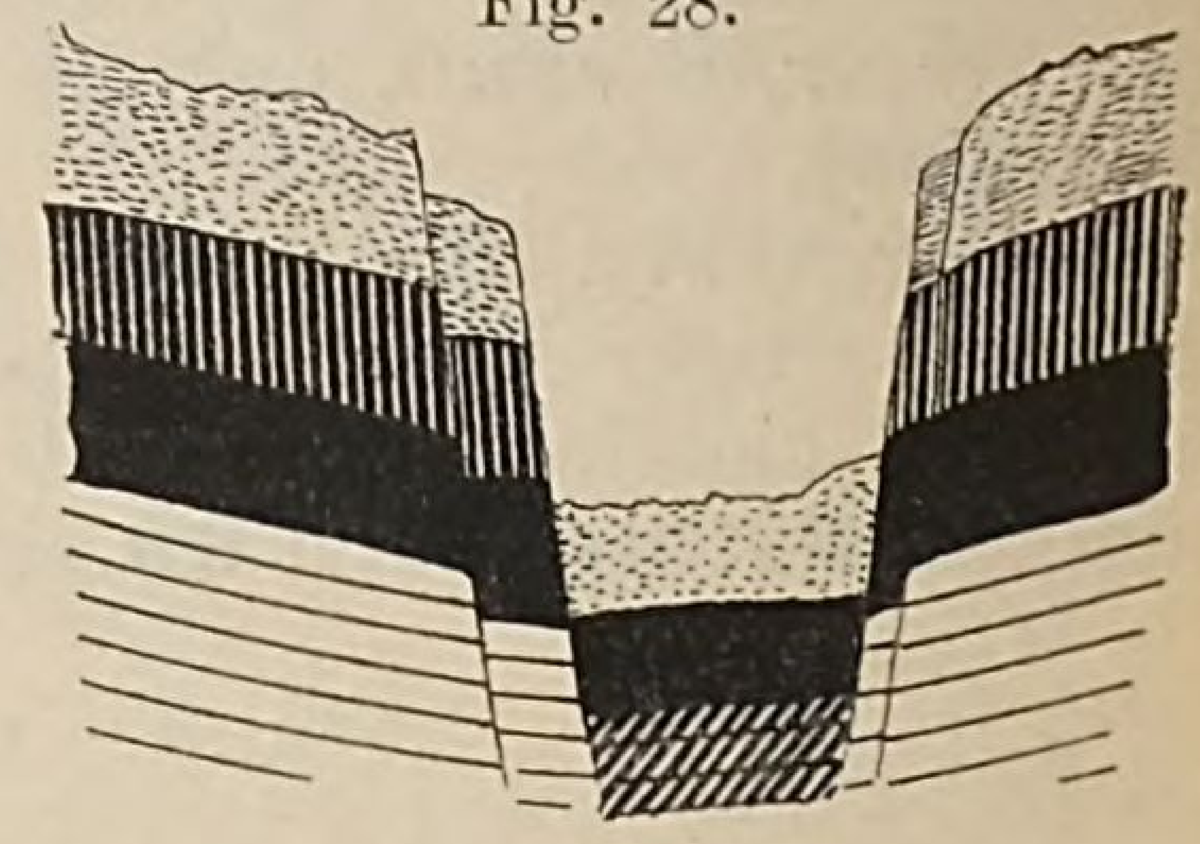
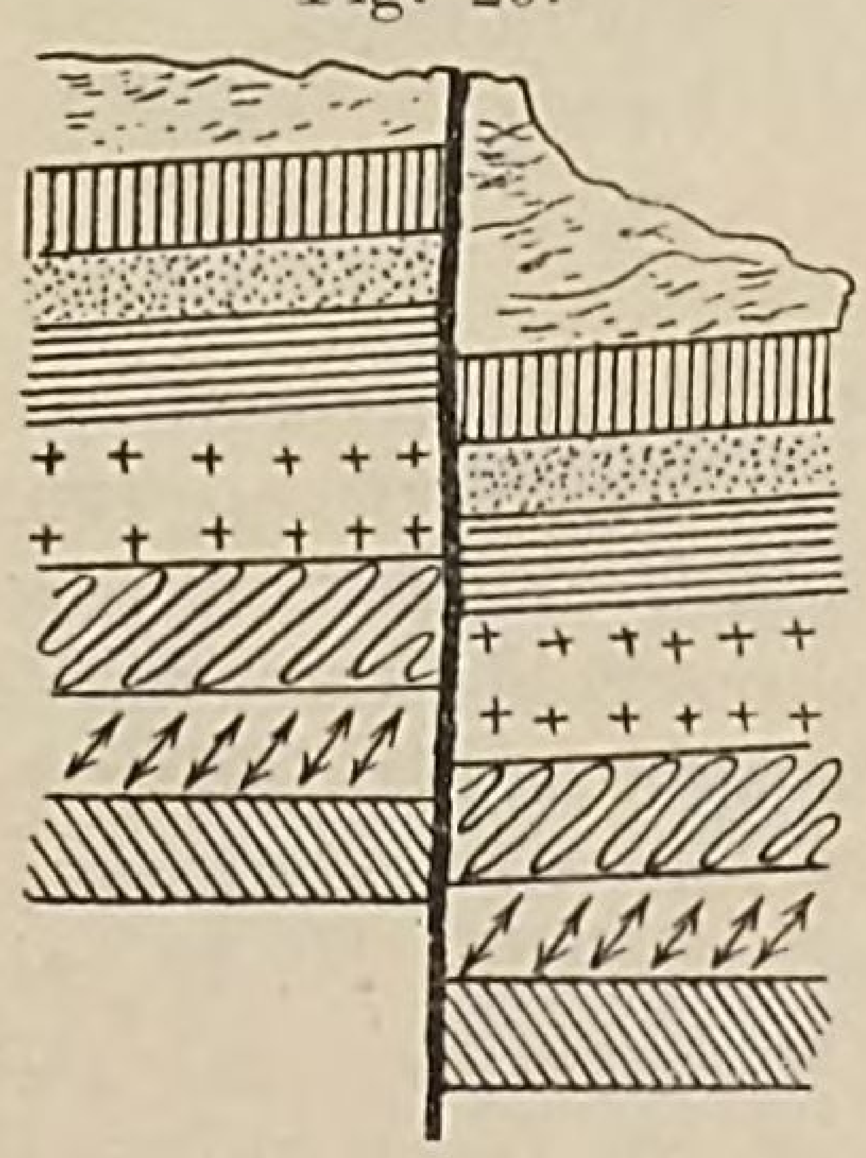


Fig. 28.



sprünglichen Stellung erhalten blieb, während zu beiden Seiten die zugehörigen Flügel absanken, so hat man einen *Horst* vor sich, wie ihn *Fig. 27* abbildet. Das Gegenstück des Horstes erkennt man im *Graben* oder in der *Grabenverwerfung* (*Fig. 28*)[1]. Mit *E. Suess* betrachtet man Schwarzwald und Vogesen als alte Horste, und auch die Cima d'Asta in den südöstlichen Alpen muss diesen zugerechnet werden. Andererseits hat nach *Lartet* das Jordanthal alle Eigenschaften einer durch Bruch entstandenen, mächtigen Grabenverwerfung an sich.

Fig. 29.



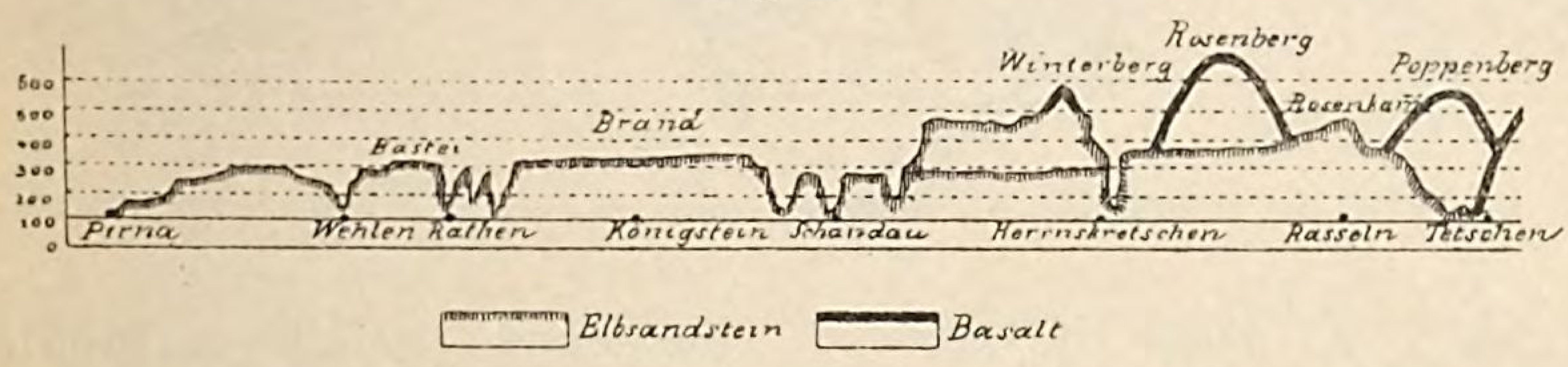
Gar nicht selten liegen die beiden Flächen, in welche eine Schicht durch die Verwerfungsspalte zertrennt wurde, ganz glatt aneinander; mitunter auch hat sich ein Zwischenraum gebildet, den häufig genug *Gangmasse* (S. 66) ausfüllt (*Fig. 29*). Das *Saalband* vermittelt den Uebergang vom Gang- zum Schichtgestein. An den Randflächen der Kluft, welche auch *Rutschflächen* heissen, beobachtet man, eben

[1]) Wenn man, was freilich nicht den in diesem Buche vertretenen Ansichten, wohl aber denen der meisten englischen Geophysiker entspricht, die Schollen als teilweise von dem feurigflüssigen Glutbrei des Magma getragen sich vorstellt, so kann man sich den Horst als eine von zwei minder tief eintauchenden Schollen in die Höhe gepresste Mittelscholle denken, und die Entstehung des Grabens kommt bei dieser Auffassung dadurch zustande, dass eine Scholle beidseitig niedergedrückt und dadurch in die zähe Flüssigkeit tiefer eingesenkt wird, als sie unter gewöhnlichen Verhältnissen eintauchen würde.

der stattgehabten Rutschung halber, oft glatte Stellen (*Spiegel*) und eigenartige, leicht mit Gletscherschrammen zu verwechselnde *Parallelstreifungen*.

Die in der Erdrinde entstandenen Spalten sind von *Daubrée* zum Gegenstande eines eingehenden Studiums gemacht worden. Wenn solche Spalten keine eigentliche Verwerfung bewirkt haben, so sind es *Diaklasen*; im anderen Falle, wenn Absinken und Erheben sich mit der Spaltenbildung verband, sind es *Paraklasen*. Man kann mittels der hydraulischen Presse solche Paraklasen im grossen Masstabe künstlich erzeugen und bemerkt, wenn man in diesem Sinne experimentiert, dass die Klüfte, die man auch zusammenfassend *Lithoklasen* nennt, sich zu *zwei senkrecht aufeinander stehenden Kluftsystemen* anordnen. Wahrscheinlich stimmt, wie *Hettner* im Anschlusse an *Daubrée* gezeigt hat, der eigentümliche Charakter der Berge im sächsischen Pläner (S. 93), ein durch *Fig. 30* in einem Querprofile gekennzeichneter Charakter, mit solchen

Fig. 30.



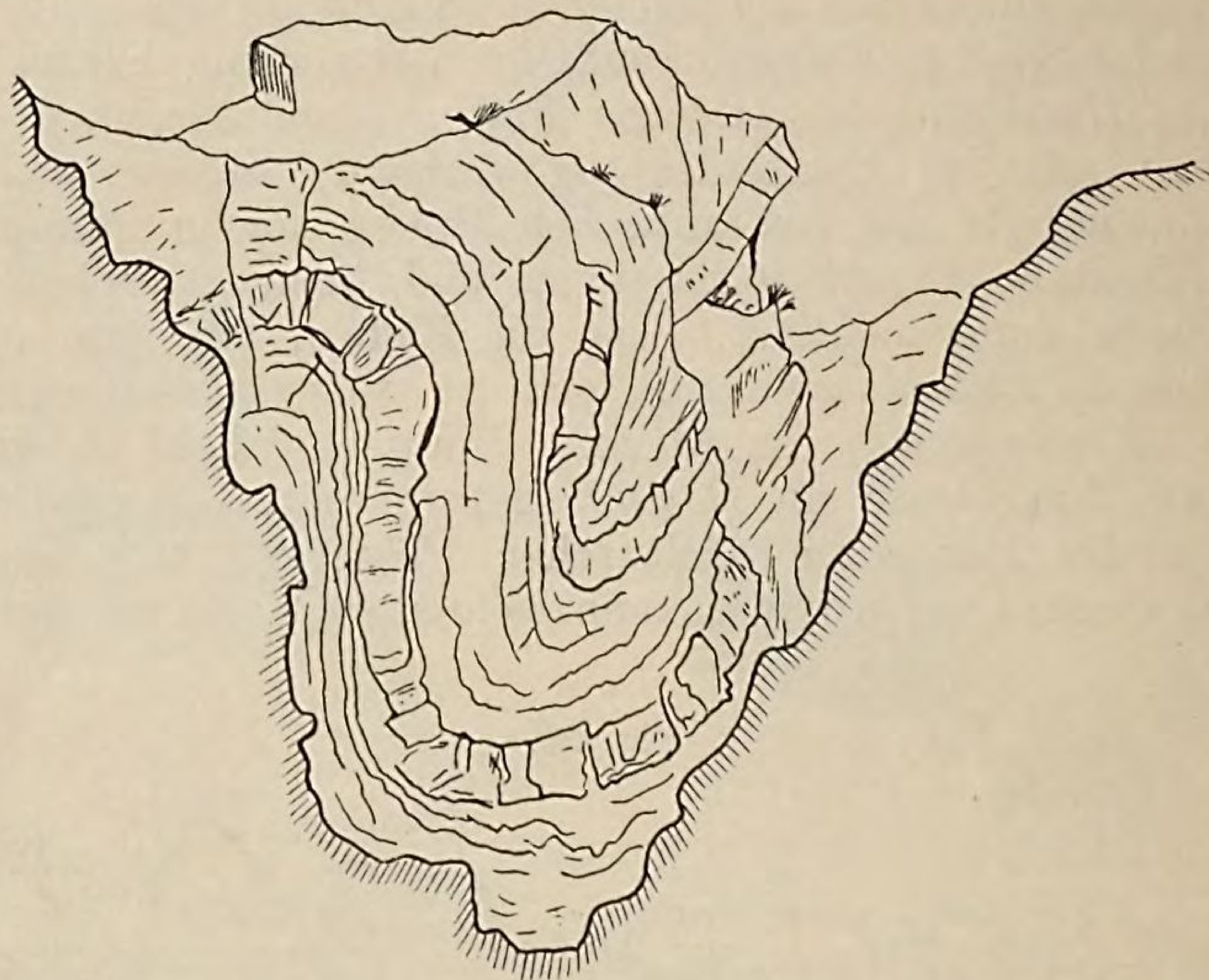
natürlichen Sprungsystemen überein, bei deren Erweiterung dann allerdings auch die Erosion ihre Mitwirkung geleistet hat.

Geographisch offenbart sich eine paraklastische Verwerfung dadurch, dass äusserlich ein sogenanntes *Senkungsfeld* sich gebildet hat. Sehr oft wird dasselbe bereits durch die Oberflächengestaltung verraten; wo aber durch Denudation oder Aufschüttung die Senkung undeutlich geworden ist, kann man sie geognostisch mittels des Kennzeichens konstatieren, dass Formationsglieder nebeneinander, im gleichen Horizonte, vorkommen, von denen man weiss, dass sie ungleichen Alters sind.

Fältelungen. Ein seitlicher Schub, dem die Schichtenmasse nicht ausweichen kann, weil am entgegengesetzten Ende entweder ein unbesiegbares Hemmnis entgegensteht, oder weil dort in entgegengesetzter Richtung ein ebensolcher Schub wirkt, bringt eine *Fältelung* der Erdrinde zuwege. In unserem geometrischen Bilde bedeutet dies, dass das Parallelensystem, ohne seinen Zusammenhang und den Parallelismus zu verlieren, in ein System mannigfaltig gebogener Parallelkurven übergeführt wird. In sehr vielen Fällen, wie oben in *Fig. 18*, ist der parallele Verlauf ein ungestörter, in anderen Fällen gibt es *Unterbrechungsstellen*, in denen dieser Verlauf für kurze Strecken aufgehoben erscheint, um sofort nachher wieder in der alten Weise sich fortzusetzen. Zum Beweise

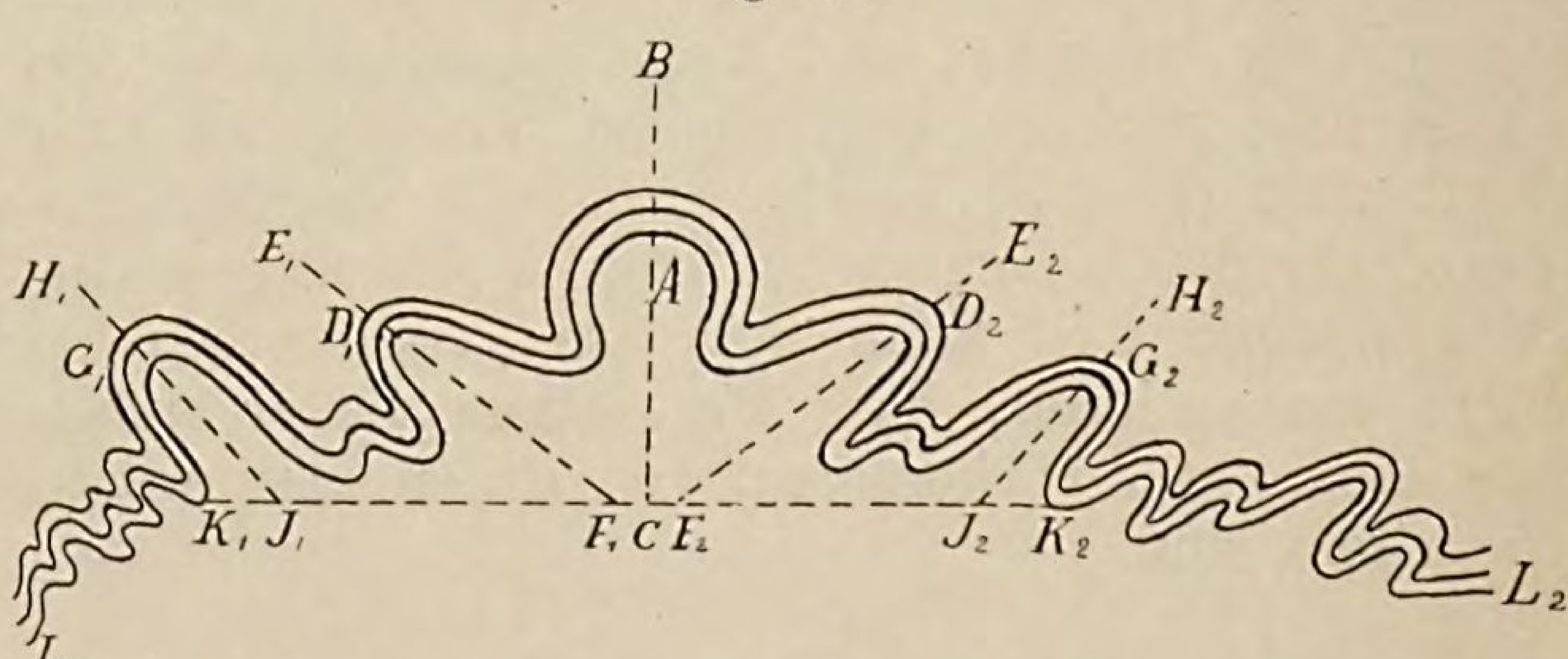
dafür, dass solche reine Faltungen, welche mit Verwerfungen nichts zu thun haben, in der Natur wirklich vorkommen, bilden

Fig. 31.



wir nach *E. Suess* in *Fig. 31* eine Partie gefalteten Melilithschiefers (aus Mähren) ab[1]).

Fig. 32.

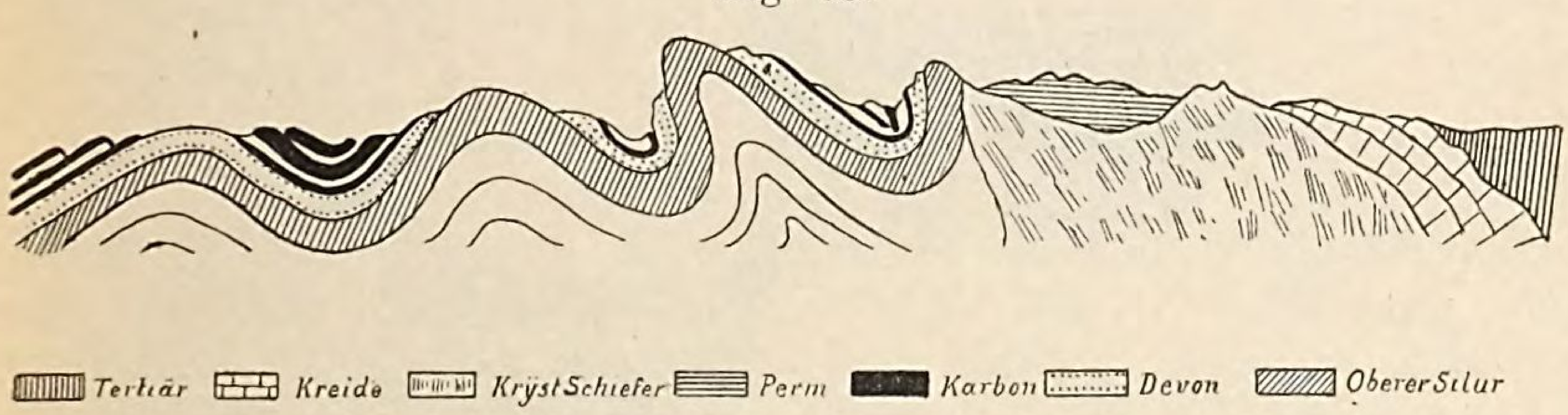


Eine Fältelung kann *symmetrisch* sein, wie dies für das in *Fig. 18* dargestellte Faltengebirge gilt, sie kann aber auch *asymmetrisch* sein. *Fig. 32* lässt uns beide Möglichkeiten auf demselben

[1]) Eine Reihe geradezu grossartiger Belege für die Existenz regelmässiger Schichtfaltungen bietet das tief eingeschnittene Thal des Cismone-Baches dar, welches man auf dem Wege von Feltre (oder Bassano) nach Primiero durchwandern muss. Es sind wesentlich mesozoische, durch verschiedene Färbung deutlich ins Auge fallende Schichten, welche an den Wänden der Schlucht aufgeschlossen sind, so dass man sowohl die Muldenschenkel als auch die — anderwärts vielfach denudierten — Gewölbeköpfe mit der grössten Klarheit unterscheiden kann.

Bilde überblicken. Jener Teil der gefalteten Schichten, welcher oberhalb des Horizontes $K_1 K_2$ gelegen ist, besitzt eine symmetrische Anordnung; es gibt eine Symmetrielinie BA, welche in C die Distanz $K_1 K_2$ normal halbiert; wenn man ferner zu den homologen Sätteln D_1 und D_2, G_1 und G_2 resp. die Medianen $E_1 F_1$ und $E_2 F_2$, $H_1 J_1$ und $H_2 J_2$ gezogen denkt, so liegen die Durchschnittspunkte dieser Graden mit der Horizontalen $K_1 K_2$ so, dass $CF_1 = CF_2$, $CJ_1 = CJ_2$ wird. Jene Teile der Gesamtfaltung dagegen, welche unterhalb der genannten Horizontalen liegen, also $K_1 L_1$ zur Linken und $K_2 L_2$ zur Rechten, verhalten sich nicht mehr symmetrisch gegen einander. Das beste, wenn auch natürlich nicht durchweg ungetrübte Bild symmetrischer Faltung im Grossen bietet uns der durch seinen regelmässigen Bau ausgezeichnete *Schweizer Jura.* Auch von den *Alle-*

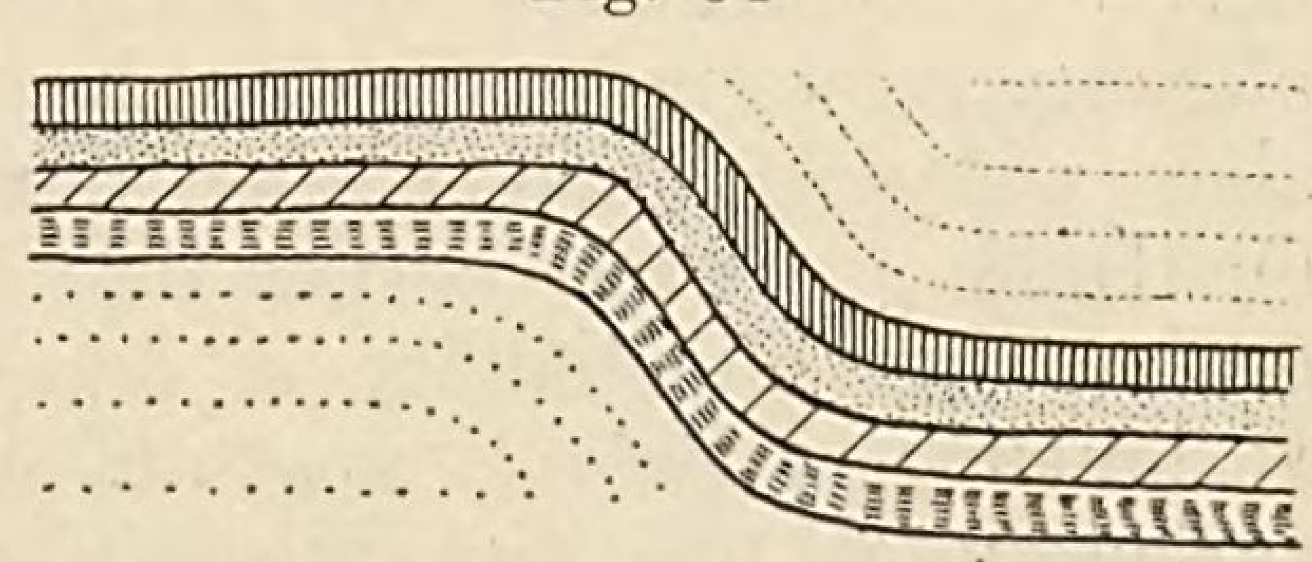
Fig. 33.



ghanies wird gewöhnlich hervorgehoben, dass sie eines der am reinsten ausgeprägten Faltengebirge seien; dies ist auch richtig, doch ist, wie das von West nach Ost durch dieses Gebirge hindurchgelegte Profil (*Fig. 33*) ausweist, die Fältelung keine symmetrische. Dieses nämliche Profil ist auch deshalb sehr lehrreich, *weil es die ungefähre Epoche des Fältelungsprozesses zu erkennen gestattet.* Auf die permischen Ablagerungen erstreckt sich die Umbiegung der Schichten nicht mehr, auf die mesozoischen und tertiären noch weniger; dagegen sind die silurischen, devonischen und karbonischen Schichten regelmässig gefaltet. Die Alleghanies sind also, im Gegensatze zu den Alpen (S. 104), ein sehr altes Gebirge, das als geotektonisches Individuum noch vor dem Ende der paläozoischen Aera fertig ausgebildet war.

Gewisse für die geologische Praxis bedeutsame Gestaltungen verdienen eine besondere Untersuchung. Wir können unser gegebenes Parallelensystem, wenn wir uns dasselbe aus biegsamen Fäden zusammensetzen, leicht in eine solche Lage bringen, dass es die in *Fig. 34* dargestellte Gestalt erhält. Krummlinig ist nur das Mittelstück ausgefallen, während Anfang und Ende die Gradlinigkeit beibehalten haben.

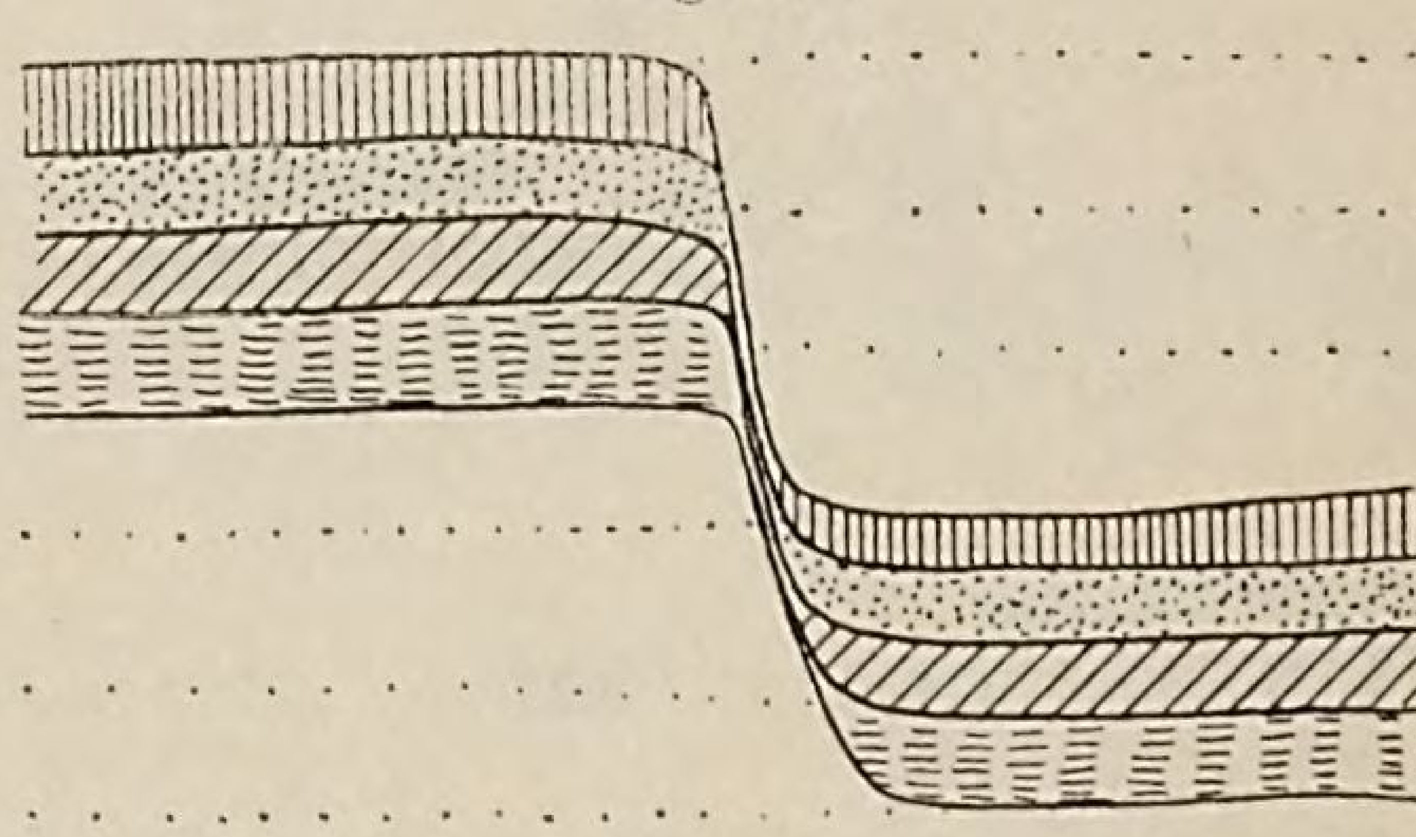
Fig. 34.



Ein in dieser Weise gebogenes Schichtsystem wird in der geotektonischen Nomenklatur eine *Flexur* genannt. Die Schichten

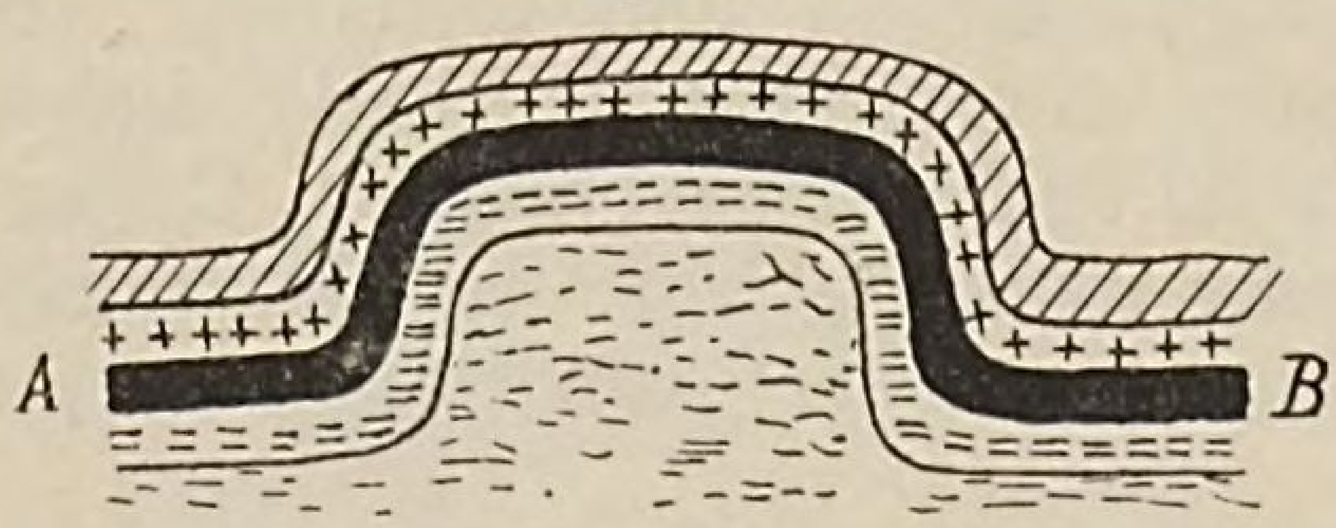
haben somit eine S-förmige Lage, die natürlich auch eine Z-förmige werden kann, wenn im Modelle die gleichen Winkel, welche die in der ursprünglichen Lage verbliebenen Parallelenstücke mit dem gebogenen Mittelstücke bilden, aufhören, stumpf zu sein (wie in unserer Figur) und dafür spitz werden. Man bemerkt, dass dann, wenn die betreffenden Wechselwinkel nahezu mit einem rechten Winkel übereinstimmen, die Flexur eine gewisse Aehnlichkeit mit einer Verwerfung besitzt; morphologisch betrachtet, besteht jedoch eine grundsätzliche Verschiedenheit zwischen beiden: *Eine Verwerfung ist ein aus getrennten Teilen bestehendes und eine Flexur ist ein kontinuierliches Gebilde.* Die erwähnte Aehnlichkeit steigert sich dann, wenn, wie in *Fig. 35*, die Parallelkurven des Mittelstückes

Fig. 35.



sich ganz enge aneinander herandrängen. Man kann sich auch leicht die Fortsetzung der Flexur nach der entgegengesetzten Seite veranschaulichen; diese Fortsetzung führt zu einem *Flexurhorst* (*Fig. 36*), dessen Endschenkel bei *A* und *B* in ein und denselben Horizont fallen. Ganz ebenso entsteht durch Ausbiegung nach unten ein *Flexurgraben.* Flexurhorste sind in manchen Fällen das Endergebnis eines von unten auf ziemlich plastische Schichten ausgeübten Auftriebes; wir werden im übernächsten Abschnitte sehen, dass diese Schichtfaltung in enger Beziehung zu den sogenannten Domvulkanen stehen kann. Dann also ist nicht, wie sonst gewöhnlich, die Kontraktion der erkaltenden Erde die Ursache der Faltenbildung, sondern der Vertikaldruck einer glutflüssigen Masse, welche aber vielleicht auch wieder durch jenen erstgenannten Prozess in die Höhe gepresst worden ist. Hieraus zieht man den Schluss, dass es, wie allenthalben in der Naturforschung, bedenklich ist, jede vorkommende Erscheinung auf eine ganz bestimmte Grundursache zurückführen und die Vielseitigkeit der Natur, welche dasselbe Endziel auf den verschiedensten Wegen zu erreichen weiss, ausser acht lassen zu wollen.

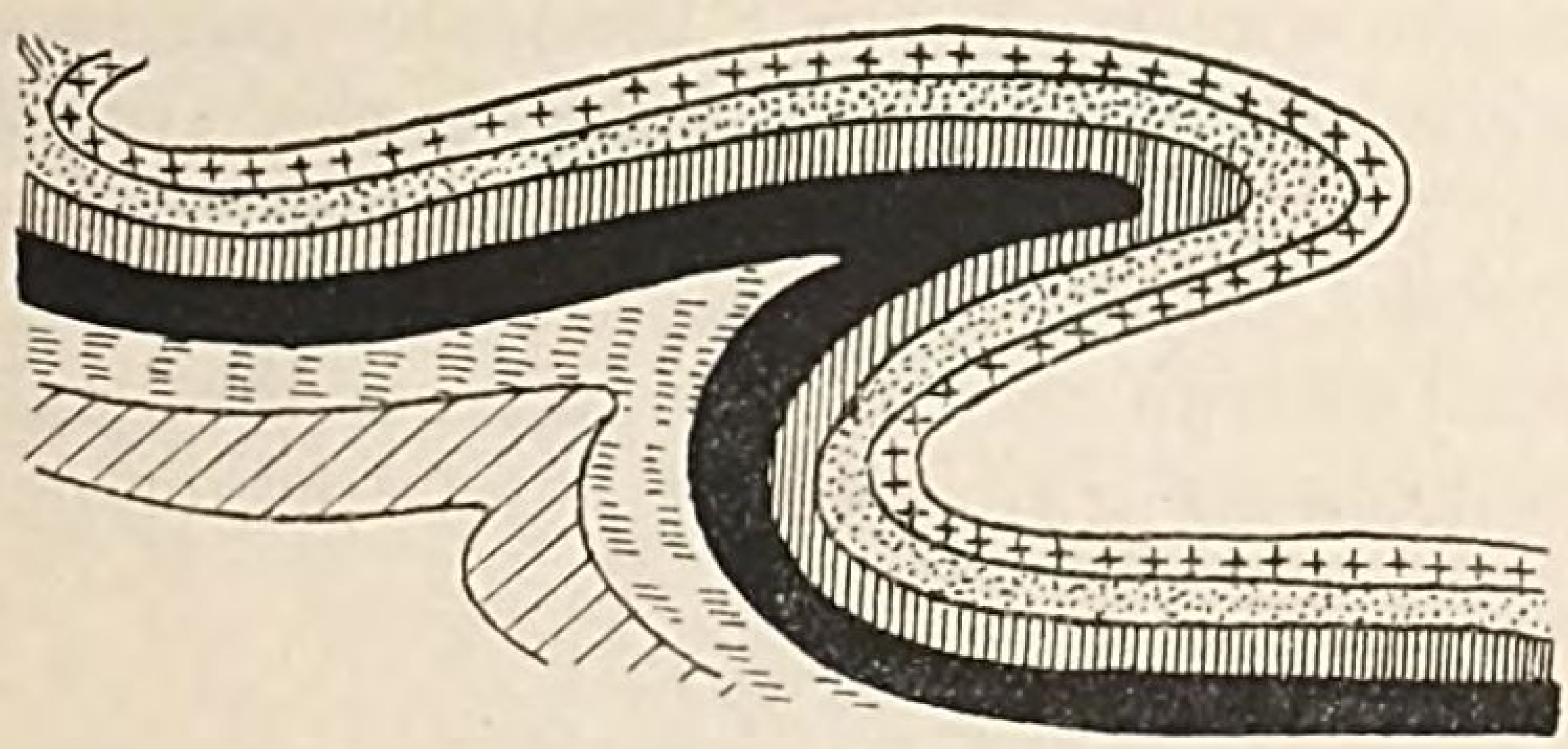
Fig. 36.



Von der Flexur ist nur noch ein Schritt zur *Vor-* und *Ueber-*

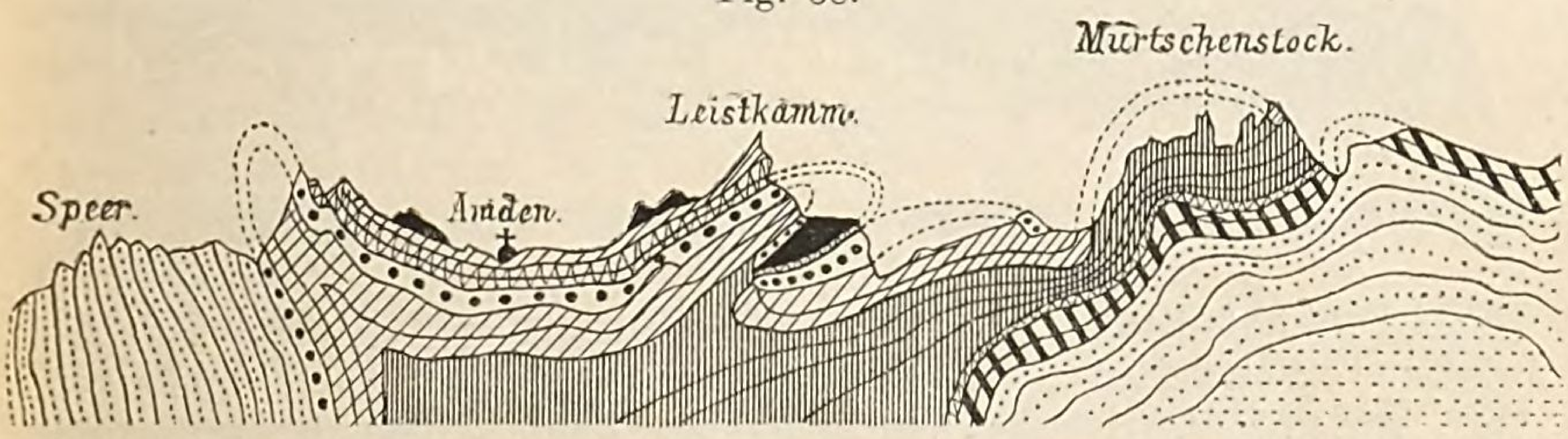
faltung. Eine solche stellt *Fig. 37* dar, die einer besonderen Erläuterung wohl nicht bedarf. Jene Linie, welche die Sattelbiegungen miteinander verbindet, bildet in dieser Zeichnung noch einen wenn auch kleinen Winkel mit dem Horizonte; wenn aber dieser Winkel Null geworden, so hat man eine *liegende Falte* vor sich. Die Existenz solcher liegenden Falten, durch welche der stärkste Beweis für die unregelmässige Zusammenziehung der Erdkruste erbracht

Fig. 37.



wird, hat man früher in Abrede gestellt, allein nach den Forschungen von *Heim, Suess, Neumayr* u. a. muss jeder Zweifel daran, dass einseitiger Schub das latent plastische Gestein selbst in diese unwahrscheinliche Form zu bringen vermocht habe, aufgegeben werden. Dies soll sofort an der Hand eines der merkwürdigsten Vorkommnisse dieser Art im Bau der Westalpen weiter ausgeführt werden;

Fig. 38.



Geognostisches Profil am Wallenstädter See.

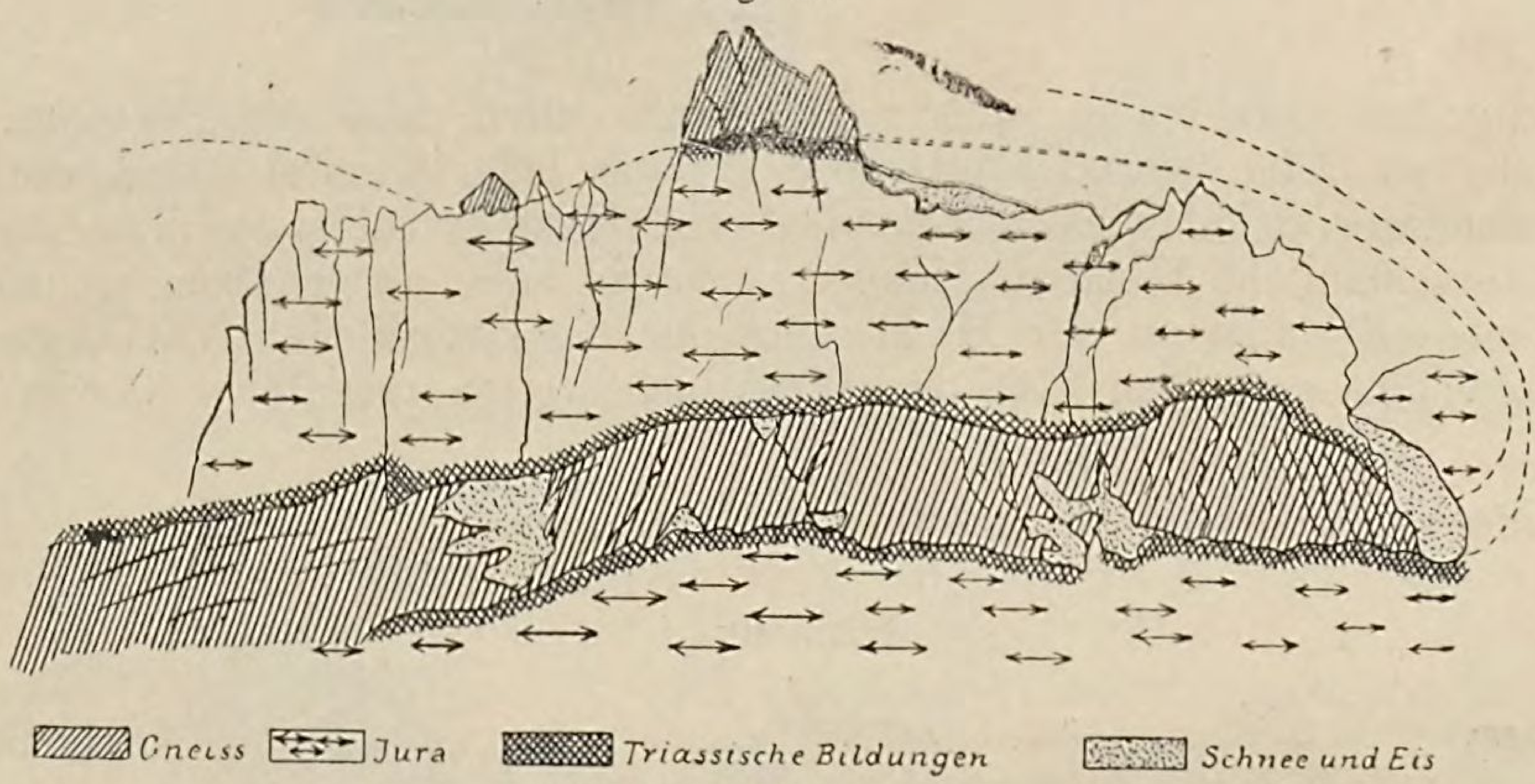
Eocän mit Nummuliten. Molasse. Lias. Sonstige Juraformation. Cretaceische Formation. Gault. Schrattenkalk.

um dasselbe klar zu übersehen, bedarf es jedoch Kenntnis dessen, was der Geologe als *Luftsattel* bezeichnet. Wenn durch die erosive Arbeit der zerstörenden Agentien der obere Teil eines Schichtgebirges abgetragen ist, so fehlt in den vom Ueberreste angefertigten Profilen häufig der Zusammenhang zwischen Schichten, denen man deutlich ansieht, dass sie ursprünglich Bestandteile einer einzigen Falte gewesen sein müssen. Man stellt, wie dies in *Fig. 38* fünfmal geschehen ist, den Zusammenhang durch gestrichelte Linien her, welche die der Stetigkeit beraubten Schichten wieder zu einem

Ganzen zusammenschliessen, und diese Linienzüge sind eben die vorhin genannten Luftsättel.

Das in *Fig. 39* abgebildete Gebirgsmassiv ist das zur Finsteraahorngruppe gehörige Gställihorn. Das Profil zeigt, dass Gneis über Juragestein und Juragestein wieder über Gneis liegt, während dann dieser wiederum von Juraschichten unterteuft wird. Dass diese Wechsellagerung von Ur- und späterem Sedimentgesteine ihre besonderen Gründe haben muss, war sofort einleuchtend, aber erst nach und nach lernte man einsehen, dass infolge eines ungeheuren seitlichen Schubes, wie er einer Faltungsbewegung entspricht, die Jura- und Gneismassen in der angegebenen Weise in einander hineingepresst worden sind. Die beiden Felsarten bilden eine liegende Falte, welche beim Jura noch verhältnismässig gut zu übersehen ist, während allerdings vom oberen Gewölbschenkel der Gneisfalte ein überwiegender Teil zerstört und fortgenommen erscheint.

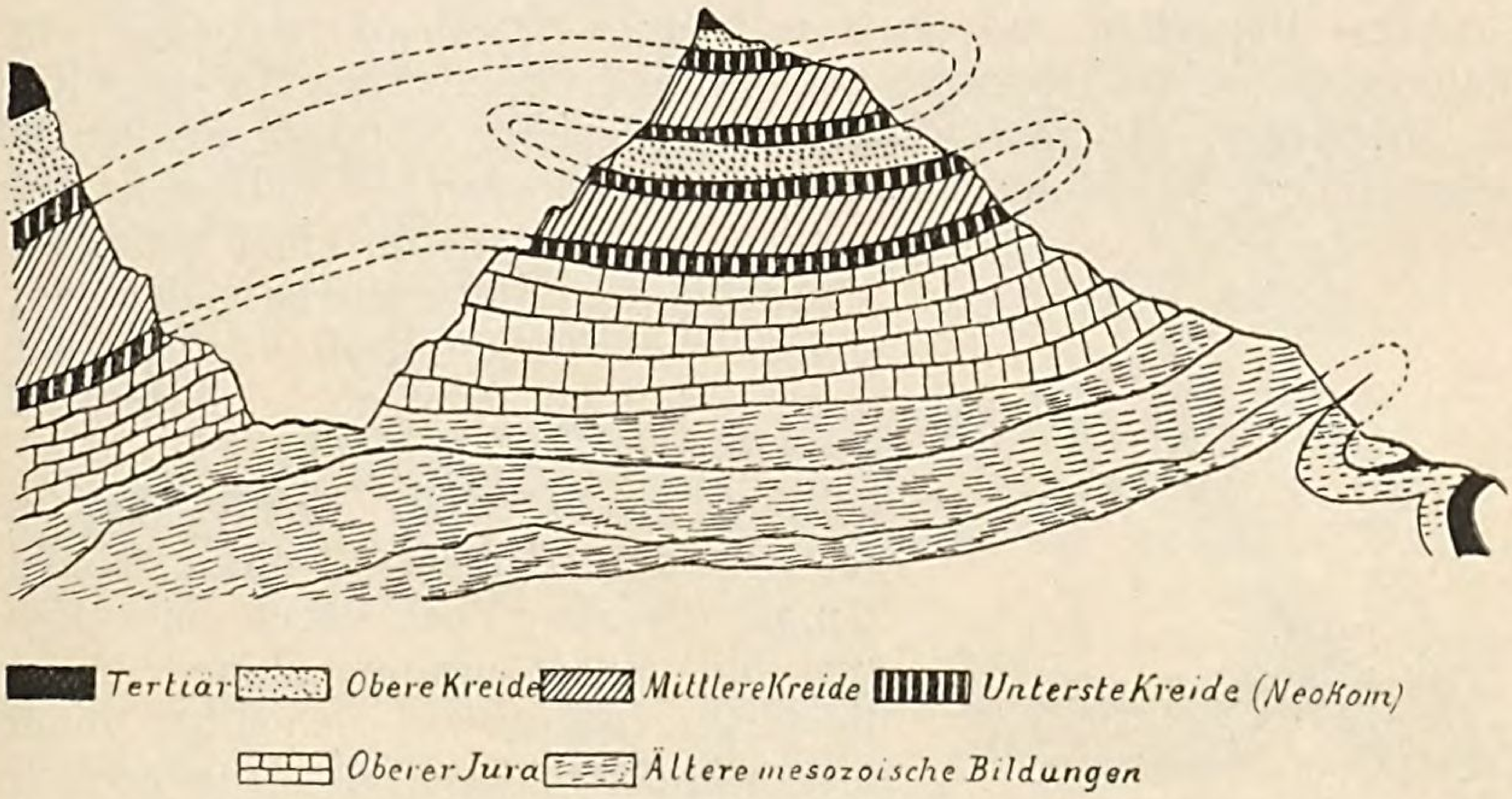
Fig. 39.



Doch dient der Luftsattel dazu, die Ergänzung wenigstens im Geiste wieder vorzunehmen. Was dieser Erklärung einen noch sichereren Halt verleiht, das ist der Umstand, dass allenthalben da, wo Gneis und Jura sich berühren, schwache Anzeichen von Triasgestein bemerkbar sind. Nun ist also der ganze Vorgang klargelegt. Die Gneismasse des Gställihornes ragte aus dem paläozoischen Meere hervor, da Ablagerungen, welche dieser Aera entsprächen, ganz und gar fehlen; beim Beginne der mesozoischen Zeit dagegen wurde jenes Massiv überflutet, es bildete sich eine dünne Schicht triassischen und eine mächtigere Schicht jurassischen Gesteines, durchweg in regelrechter, konkordanter Lagerung. Erst dann, als in der Kreide- oder Eozänzeit die grosse Fältelungsbewegung ausgelöst wurde, aus welcher unsere gegenwärtigen Alpen hervorgingen, ward die normale Schichtfolge gestört; der Gneis ward gehoben, und die in Frage kommenden Schichten presste diese einseitige, von einem seitlichen Druck begleitete Hebung zu einer liegenden Falte in einander.

Noch bemerkenswerter muss uns jedoch das Vorkommen von *Doppelfalten mit angenähert horizontaler Achsenrichtung* vorkommen, und doch ist auch dieses von *Heim* und *Baltzer* in den Glarner Alpen nachgewiesen worden. *Fig. 40* sucht ein Schema eines Teiles dieser berühmten *Glarner Doppelfalte* [1]) zu geben. Es sind die Verhältnisse am Glärnisch. Vier beinahe horizontal verlaufende Neokomschichten liegen über dem Malm so, dass zwischen sie zwei Schichtreihen mittlerer und noch eine Schicht oberer Kreide sich einschieben. Schon früher (S. 78) war bemerkt, dass diese Anordnung eine geognostisch überaus rätselvolle sei; sobald wir aber zwischen je zwei nächst benachbarten Neokomschichten die zugehörigen Luft-

Fig. 40.



sättel konstruieren, erkennen wir, dass die unterste Kreide sich eine zweimalige Faltung hat gefallen lassen müssen.

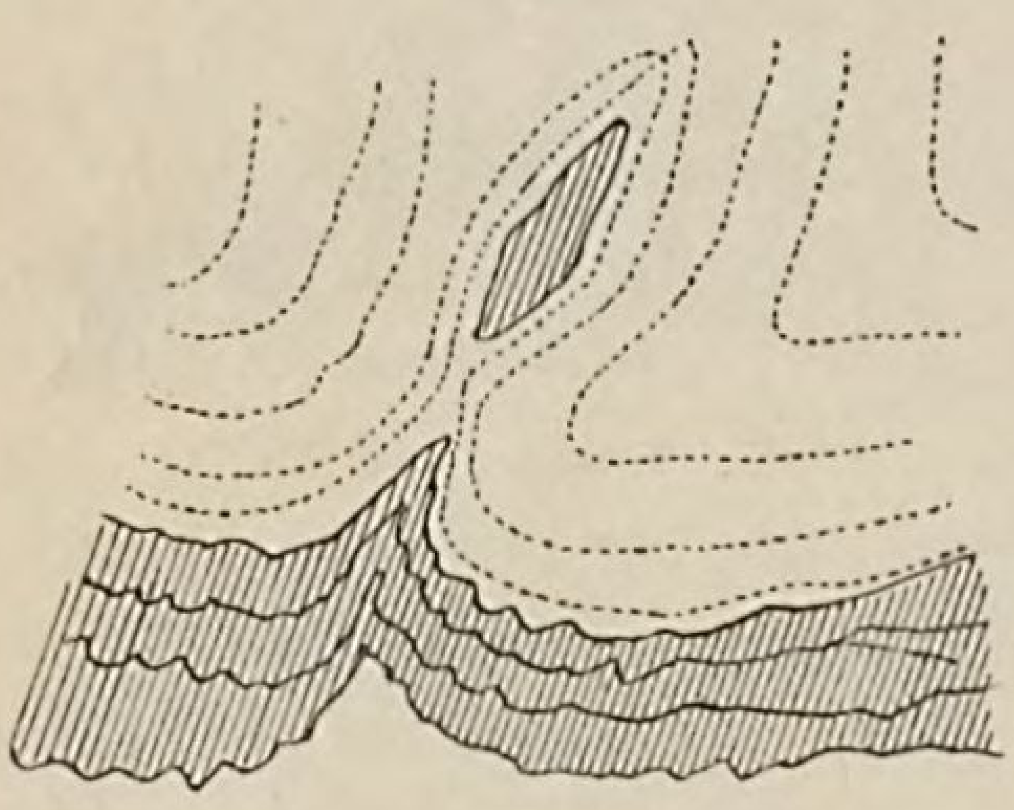
Weiter südlich und westlich, in der Tödi- und Windgällengruppe, zeigt sich die Glarner Doppelfalte in anderer Form. Man sieht, da die Natur für Färbung der Schichten selbst gesorgt hat, schon aus grosser Entfernung das Eozän unter dem Jura und diesen wieder unter den zur Dyas gehörigen Verrukano-Bänken liegen — ein Akt der Ueberschiebung im grossartigsten Stile. Die sonst oft viele hundert Meter mächtige Juraformation hat streckenweise nur noch die Höhe eines Zimmers, aber trotzdem sind die einzelnen chronologischen Unterabteilungen noch sämtlich gut erkennbar. Es hat hier also eine *Auswalzung* stattgefunden, von der es nicht mehr weit bis zur (gleich nachher zu besprechenden) Abschnürung einzelner

[1]) Allerdings bezeichnet man mit diesem Namen gewöhnlich bloss die Schichtungsverhältnisse am Hausstock; in der Nähe des Gipfels dieses Berges kehren die beiden Scheitel einer ungeheuren liegenden und in verschiedenem Sinne übergekippten Falte einander ihre konvexe Seite zu. Indes lässt sich die Bezeichnung auch auf den obigen, mindestens ebenso instruktiven Fall anwenden.

Teile war; der ganze Prozess, durch den die mächtigen Juralagen ohne Veränderung ihrer inneren Konstitution bis zu solcher Dünnheit gestreckt werden konnten, gemahnt unwillkürlich an das *Wollaston*sche Verfahren, Silberdrähte von unglaublicher Feinheit dadurch herzustellen, dass man einen Silberzylinder mit einem ihn fest umschliessenden Kupferzylinder von viel grösserem Durchmesser umgibt, die ganze Masse im Drahtzuge bis zu grösstmöglicher Kleinheit des Diameters auswalzt und nunmehr mittels rauchender Schwefelsäure den Kupferüberzug wegbeizt.

Endlich erklärt nur die Fältelungstheorie eine zwar seltene aber doch in einer ganzen Anzahl von Fällen unzweifelhaft bezeugte Erscheinung: *das Auftreten isolierter Nester einer bestimmten Formation inmitten einer ganz anderen Schichtenreihe.* Da, wo am Gställi- und Engelhorn (*Fig. 39*) die Gneis- und Jurabänder zungenförmig in einander eingreifen, begegnet man auch einzelnen von jeder Verbindung mit der Hauptmasse abgetrennten Malm-Einschlüssen mitten im Urgebirge. Diesem Phänomen gegenüber versagt anscheinend jeder andere Erklärungsversuch, während man es sich sehr wohl denken kann, dass von einer sehr stark übergekippten Falte ein besonders vorgeschobenes Stück vollständig abgetrennt ward. Es liegt dann also ein *Abschnürungsprozess* vor, wie ihn *Fig. 41* ersichtlich macht. Man erkennt, dass die gestrichelten Schichten eine schmale Zunge, die aber noch durch einen Isthmus mit jenen zusammenhing, tief in die weiss gelassenen Schichten hinein vorgeschoben hatten; als dann noch ein letzter lateraler Schub erfolgte, ward dieser Isthmus durchbrochen, und der Zusammenhang zwischen der Hauptschichtmasse und ihrem äussersten Vorposten war endgiltig unterbrochen.

Fig. 41.



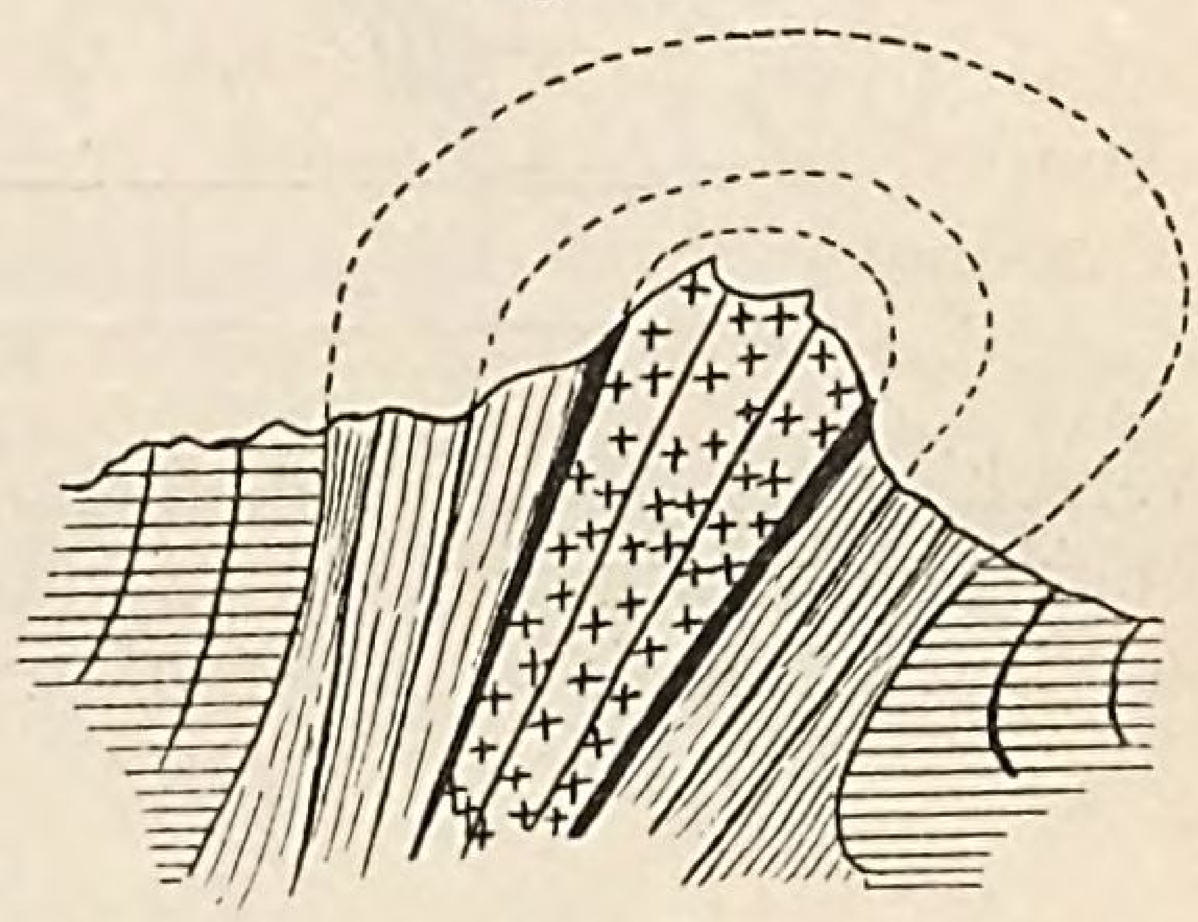
Man sieht aus dieser Darstellung, dass die verschiedensten Modalitäten der Verwandlung einer gradlinigen in eine krummlinige Parallelenschar als Ausfluss einer Fältelungsbewegung der Erdrinde sich verstehen lassen. Doch ist es nunmehr an der Zeit, auch der vierten unter den oben aufgestellten vier Klassen von Gestaltsveränderungen ihr Recht angedeihen zu lassen.

Fächerstruktur. Wir denken uns eine horizontale Schichtreihe, nehmen an, dass dieselbe eine Drehung um einen gewissen Winkel erfahren hat und so in eine schiefe Lage gegen den Horizont geraten ist; in dieser Lage möge auf die Schichtreihe ein doppelter Druck aus zwei entgegengesetzten Richtungen ausgeübt werden. Würde die Druckrichtung durch den Schwerpunkt des Schichtsystemes hindurchgehen und zugleich auf dessen Flächen normal stehen, so wäre keine Folge des Druckes bemerkbar; wenn dagegen der Druck exzentrisch erfolgt, so werden die Schichtflächen

da, wo der Druck ansetzt, einander genähert, und auf der anderen Seite weichen sie auseinander, vorausgesetzt natürlich, dass das Gestein noch hinlängliche Plastizität besitzt. Im geometrischen Bilde bleibt also die Gradlinigkeit der einzelnen graden Linien erhalten; auch bleibt jede solche unzerstückt, und nur insofern ergibt sich eine Aenderung, als die früher parallelen Linien gegen die Angriffspunkte der Druckkraft hin konvergieren.

Man sagt von einem in dieser Weise modifizierten Parallelschichtensysteme, es habe die *Fächerstruktur* erhalten; *Fig. 42* gibt eine Vorstellung von derselben. Die Zeichnung ist dem bei den Geologen wohlbekannten *Gotthard-Fächer* nachgebildet, mit welchem uns die Vorarbeiten zu dem berühmten Tunnel genau bekannt gemacht haben. Auch beim Montblanc wird der zentrale Gneis in einer analogen fächerförmigen Anordnung beobachtet.

Fig. 42.

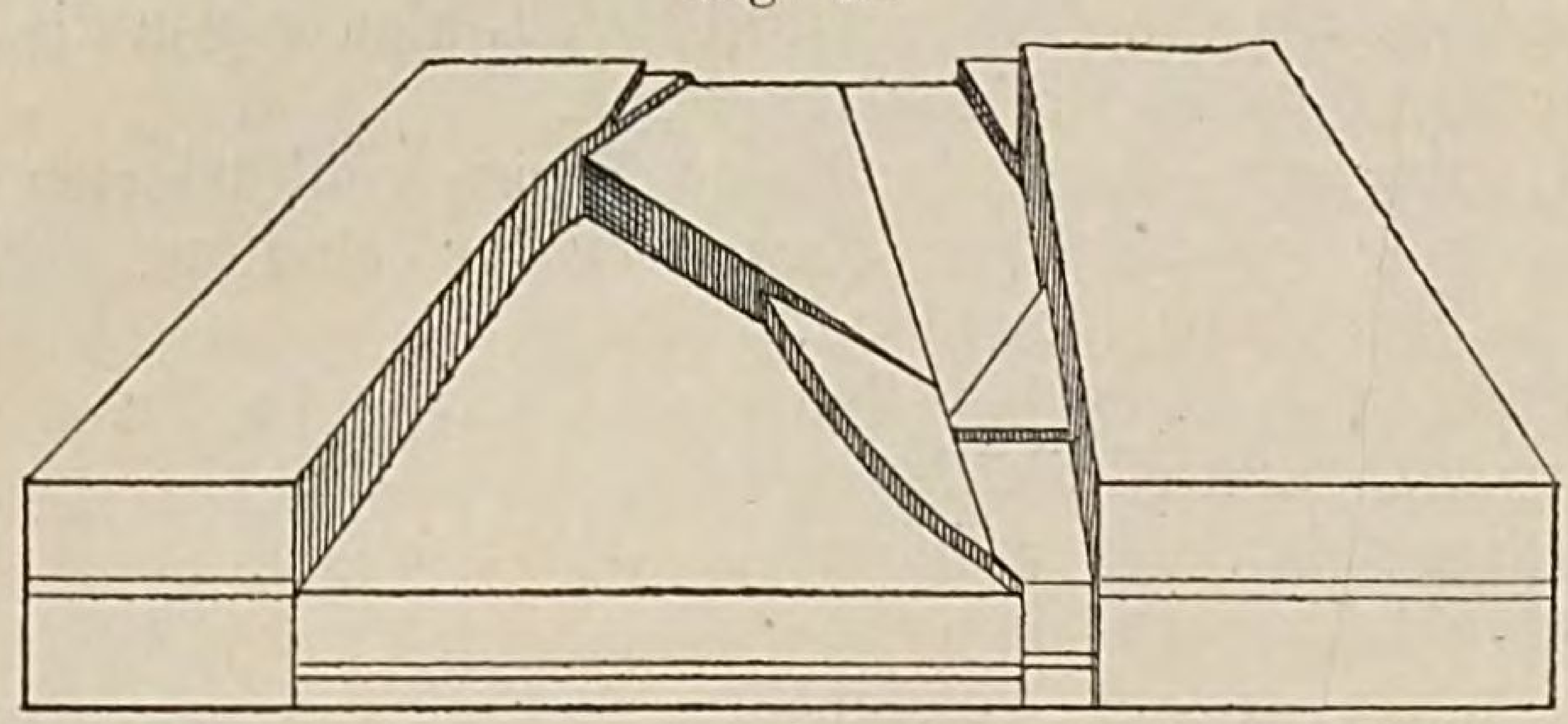


Es ist nicht unmöglich, dass die Schichtgrenzen, die in unserer Zeichnung gradlinig aufgefasst sind, in Wahrheit gekrümmte Linien darstellen, welche sich an einer gewissen Stelle sehr nahe kommen, um von da an nach der anderen Seite wieder auseinanderzugehen. Ist dies der Fall, so kann die Fächerstruktur als Grenzlage einer *Fächerfaltung* angesehen werden, wie man sie andererseits auch aus einem Flexurhorste (*Fig. 36*) durch ganz einfache Deformation entstehen lassen kann. Man braucht nämlich nur anzunehmen, dass die in A und B angreifenden Horizontalkräfte an Intensität zunehmen; dann werden die Inflexionspunkte des Horstes sich einander nähern, und es wird möglich sein, wesentlich die gleiche Gestaltung der Schichten zu erhalten, welche in *Fig. 42* insbesondere durch die Luftsättel angedeutet ist.

Kombinationen der einfachen Schichtstörungen. Unsere bisherige Darstellung vermochte nur die *Elemente*, die planimetrischen Grundlehren der Geotektonik, zu liefern; die *Kombination* dieser Elemente zu verwickelteren stereometrischen Gestaltungen muss sich dem im Terrain beobachteten Einzelfalle anpassen. Wenn etwa durch Bildung mehrerer gleichzeitiger Dislokationsspalten, welche sich nicht rechtwinklig durchkreuzen, ein ganzes System von Verwerfungen entsteht, so kann die Erdkruste an der betreffenden Stelle eine Zerklüftung erfahren, wie sie *Fig. 43* nach einem dem nordamerikanischen Kreidegebirge entnommenen Modelle des Unionsgeologen *Hayden* zur Anschauung bringt. Vor allem verdient ein parallelepipedischer Gebirgsteil Beachtung, welcher durch zwei Querbruchflächen aus dem Gebirgsmassiv herausgeschnitten ward; bei *Suess* wird eine solche Masse als *Blatt* bezeichnet. Die Kenntnis

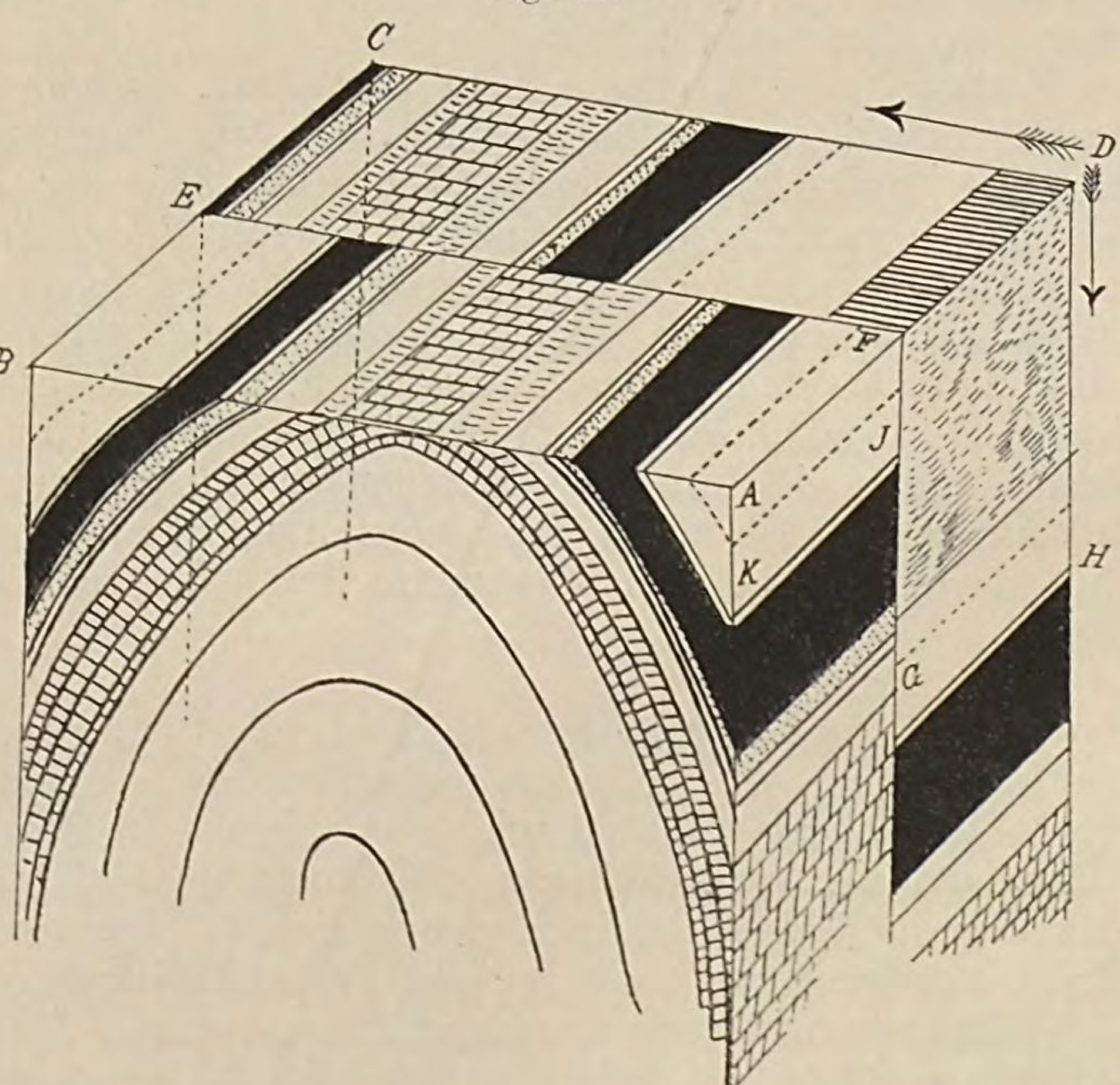
der Oertlichkeiten, wo sich solche Blätter finden, ist besonders deshalb von Wichtigkeit, weil diese Gegenden (s. u. in Abschnitt VIII) eine entschiedene Neigung zu Erderschütterungen bekunden. Wenn

Fig. 43.



verschiedene Blätter nebeneinander liegen, so können sich dieselben aneinander hinschieben, wodurch sich dann eine *Staffelverschiebung* — Bezeichnung *v. Richthofens* — ergibt.

Fig. 44.



Ein sehr ansprechendes Modell für die Staffelverschiebung hat *A. Heim* entworfen; es ist dasjenige, dessen Abbildung wir in *Fig. 44* wiedergeben. *ABCD* ist die als eben vorausgesetzte Oberfläche eines Gebirgsteiles; eine Schnittebene, deren Durchschnittslinie mit der Fläche *ABCD* durch die zu *AB* und *CD* parallele Grade *EF*

versinnlicht ist, hat das Parallelepipedum in zwei kongruente Hälften zerteilt, aber noch ist dieser Sprung eine einfache Lithoklase, d. h. es hat noch keinerlei Verschiebung der beiden Teile stattgehabt. Wir brauchen uns aber jene Hälfte, deren Oberfläche das Rechteck *CDFE* ist, nur um ein Stück in der dem beigesetzten horizontalen Pfeile entgegengesetzten Richtung verschoben zu denken; alsdann klappen die Schichtköpfe, welche durch verschiedenartige Markierung kenntlich gemacht sind, genau aufeinander. Mit der Verschiebung war aber auch eine Verwerfung Hand in Hand gegangen; der Flügel *DFGH* ist in der Richtung des Vertikalpfeiles abgesunken; man muss, um das Blatt in seiner anfänglichen Gestalt wiederherzustellen, diesen Flügel so lange emporheben, bis die Linie *GH* genau in die Verlängerung von *KJ* fällt. Man ersieht somit, dass diese kombinierte Staffelverschiebung und Verwerfung, welche die Figur uns vorführt, durch eine — gleichzeitig oder ruckweise — erfolgte Verschiebung des Blattes *ECDFGH* nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen erfolgte, wobei jedoch die Grenzfläche zwischen diesem und dem Blatte *BEFAKJ* ganz intakt verblieb.

Man kennt, zumal aus den östlichen Alpen, eine ganze Anzahl von Blättern und Blattbrüchen. Eine der in dieser Hinsicht merkwürdigsten Stellen ist die Umgegend des Lago di Croce südlich von Belluno; dieses Wasserbecken wird von einer Querbruchlinie durchsetzt.

Unter gewissen Umständen kann sich mit einer Verschiebung eine Drehungsbewegung vergesellschaften, so dass dann ein begrenztes Stück Erdrinde einer förmlichen *Torsion* unterworfen wird. Zu den relativ selteneren, hierher zu rechnenden geotektonischen Bildungen zählt *v. Richthofens Schraubenbruch*. Es ist dies eine Verwerfung mit entgegengesetzter Faltung auf beiden Seiten. Dem äusseren Anscheine nach kann ein solcher Schraubenbruch, wenigstens für kleinere Strecken, wohl mit einer Flexur oder mit einer einfachen Verwerfung verwechselt werden. Die Rocky-Mountains scheinen das klassische Gebiet für solche Anomalien in der Zerklüftung der Erdrinde darzustellen[1]), während wieder bei anderen Gebirgen — der Schweizer Jura wurde oben (S. 113) als ein typisches Beispiel namhaft gemacht — die Vorgänge, welche die ursprünglich horizontalen Schichten bogen und falteten, sich mit grossartiger Einfachheit und Regelmässigkeit vollzogen haben müssen.

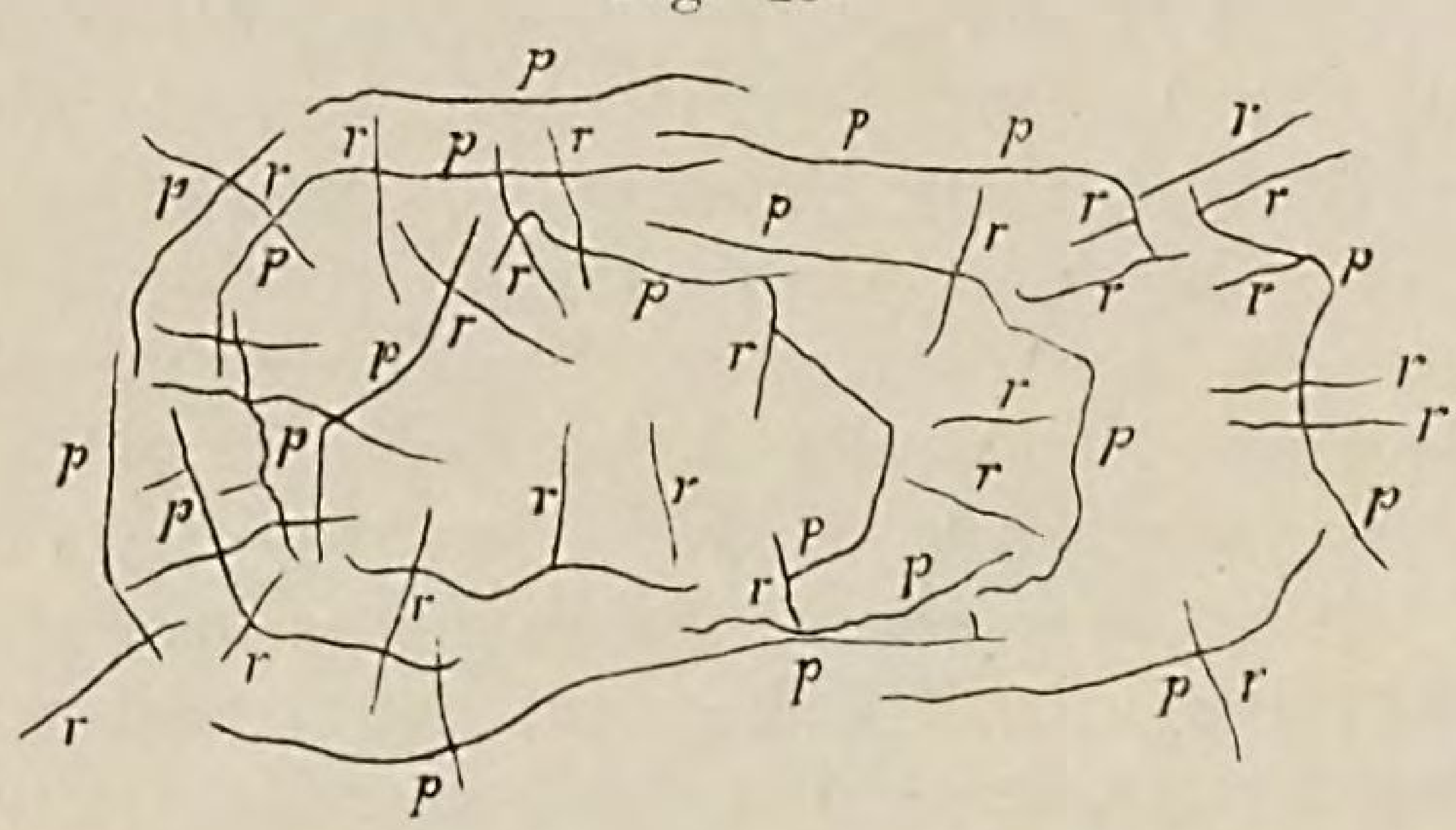
Nachträgliche Verifizierung der Kontraktionstheorie. Ein eigentlicher *Beweis* dafür, dass die oben aufgestellte Hypothese der Bildung von konvexen und konkaven Erdräumen die allein richtige sei, konnte bisher nicht geleistet werden, und einen solchen in aller Strenge zu erbringen, ist überhaupt nicht möglich. Wir haben in unserer Auseinandersetzung drei Momente besonders hervorgehoben: die Kontraktionstheorie ist einfacher und von geologischen Einwürfen bei weitem freier, als die Erhebungstheorie; *wenn*

[1]) Tordierte Schichten haben u. a. auch *Lossen* im Harz und *Wermbter* im Leinethale bemerkt.

die Erde sich zusammenzieht, muss der Umstand, dass die Schichtlagen auf der sich verkleinernden Basis keinen Platz mehr haben, Berstungen, Faltungen, Ueberschiebungen bewirken; alle jene geotektonischen Erscheinungen, welche man aus dieser Annahme morphologisch erschliessen kann, kommen in den Erdgebirgen thatsächlich vor. Die geologische Seite der Theorie kann damit als eine zufriedenstellende angesehen werden, aber nach der physikalischen Seite hin sind noch mehrere Ergänzungen erforderlich, welche nunmehr noch nachfolgen sollen.

Man denke sich in der Erdrinde irgendwo ein körperliches Element abgegrenzt; dasselbe befindet sich bei der Tendenz des Erdballes, ein immer kleineres Volumen anzunehmen, in einem unausgesetzten Zustande der Spannung. Von allen Seiten wirken Kräfte auf dieses Element, welche wir im allgemeinsten Falle, den Vorschriften der Statik zufolge, auf ein Kräftepaar und zwei zu einander senkrecht stehende Kräfte reduzieren können. Das erstere wird

Fig. 45.



nur ausnahmsweise existieren; dass es aber vorkommen kann, wird durch die oben erörterten Torsionsbewegungen innerhalb der Erdkruste bezeugt. Von den beiden Kraftkomponenten kann die eine als in *tangentialer*, die andere als in *radialer Richtung* wirkend angenommen werden. Wird die Spannung zu wirklicher Bewegung ausgelöst, so muss sich in der Erdrinde ein *Sprungsystem* bilden; *peripherische* und *radiale Sprünge* entstehen, die im wesentlichen senkrecht aufeinander stehen (vgl. *Fig. 45*, worin die beiden Arten von Sprüngen bezüglich durch die Buchstaben *p* und *r* gekennzeichnet sind). Die uns bereits bekannten geotektonischen Hauptformen müssen den Kraftkomponenten entsprechen, und zwar kann die Zuordnung in folgender Weise erfolgen:

Alle Schubbewegungen, durch welche Fältelung oder Fächerstruktur bewirkt wird, sind der Aktion der Tangentialkomponente, und alle Vertikalbewegungen, aus denen Verwerfungen u. s. w. resultieren, sind der Radialkomponente der in der Erdrinde bestehenden Spannung zuzuweisen [1]).

[1]) Eine zur Zeit ziemlich lebhaft diskutierte Streitfrage unter den Geologen ist es, ob sämtliche in vertikaler Richtung vor sich gehende Bewegungen in der angeführten Weise zu deuten oder ob daneben auch *spontane Radialbewegungen* (zumal Hebungen) anzunehmen seien. Dass wir letzteres für möglich erachten, haben wir oben (S. 103) schon betont, allein selbst dann steht

Man kann nur fragen, ob denn nicht, um so bedeutende Kraftleistungen hervorzubringen, wie sie in geologischer Vorzeit thätig gewesen sein müssen, so erhebliche Kontraktionsbeträge angenommen werden müssen, dass deren Grösse an allzu grosser innerer Unwahrscheinlichkeit leidet. *Die gewaltigen Kettengebirge der Erde sollen durch Faltung, die weiten und tiefen Meeresflächen sollen durch Einbruch entstanden sein; um wieviel muss sich der Halbmesser der Erdkugel*[1]) *ungefähr verkleinert haben, um solche Wirkungen zu erklären?* Es leuchtet ein, dass eine solche Frage keiner exakten Beantwortung fähig ist, allein immerhin lassen sich in Konsequenz des von *Heim* eingeschlagenen Verfahrens Zahlenwerte angeben, die sich von der Wahrheit nicht allzu weit entfernen können.

Geleitet von den Regeln einer geographischen Hilfsdisziplin, welche wir als *Orometrie* in Abschnitt XVII näher kennen lernen werden, kann man angenäherte Werte für den kubischen Inhalt eines über einer Grundfläche von bekannter Grundfläche sich erhebenden Gebirgsmassives erhalten. *Heim* hat für die Alpen und den Schweizer Jura diese Berechnung durchgeführt. Nun kann man die Gesamtmasse *ausgeglättet* denken, d. h. man setzt, wenn V ein solches Volumen, r den Erdradius, bedeutet, die Gleichung $4 r^2 \pi x = V$[2]) an und bestimmt x aus dieser. Das heisst mit anderen Worten: *Würde man die im fraglichen Gebirge vereinigte Gesteinsmasse als gleichmässig dicken Ueberzug über die ganze Erdoberfläche hin ausbreiten, so wäre dessen Dicke gleich x.* Diese Grösse x fällt stets minimal aus. Andererseits kann man auch die Ausglättung in der Weise auffassen, dass man bestimmt, um wieviel die jetzt von dem fraglichen Gebirge in Anspruch genommene Erdzone vor dem Beginne des Faltungsprozesses breiter war, als sie es jetzt ist. Diese Differenz liefert ein Mass für den eigentlichen *Zusammenschub*, den wir der Kürze halber y nennen, und für den wir *Heims* Zahlwerte anführen wollen. Für die Alpen wird $y = 120$, für den Jura wird y sogar nur $= 5$ km gefunden; wenn man also (S. 28) bedenkt, dass der Erdumfang mehr den 40000 km beträgt, so sind offenbar jene *Ausglättungsbeträge* keine sehr namhaften Grössen, und die Abkühlung, welche zu der Verkürzung des Erdhalbmessers die Veranlassung abgab, braucht gleichfalls keine stärkere gewesen zu

noch gar nicht fest, ob diese Hebungen, die man nicht *direkt* auf die Erdschrumpfung zurückzuführen ein Recht hat, nicht doch vielleicht *indirekt* — siehe näheres darüber beim Vulkanismus — mit jenem Vorgange in ursächlichen Zusammenhang gebracht werden können und müssen.

[1]) Für die hier in Frage kommenden Veränderungen ist es, bei der geringen Abplattung, einerlei, ob man die Kugel- oder die Sphäroidgestalt der Erde zu Grunde legt.

[2]) Eigentlich ist das betreffende Volumen gleich

$$\frac{4}{3}\pi(r + x)^3 - \frac{4}{3}\pi r^3 = 4\pi r^2 x + 4\pi r x^2 + \frac{4}{3}\pi x^3;$$

weil jedoch x einen sehr kleinen Bruchteil von r bedeutet, so können die höheren Potenzen von x unbedenklich vernachlässigt werden, und es bleibt beim obigen Ausdrucke.

sein, als sie auch anderer Motive halber wahrscheinlich ist. Ein Kälterwerden der Erde um 500° reicht aus, um längs eines grössten Erdkreises drei Gebirge von der Ausdehnung der Alpen durch den aus der Volumverminderung resultierenden Tangentialschub entstehen zu lassen. Wir schliessen mit *Heims* Worten [1]): „Schätzen wir die Faltung der anderen von dem Meridiane der Zentralalpen geschnittenen Gebirge noch in ihrem Zusammenschube ab, so finden wir, dass die Umfangsverkürzung durch die gesamte Gebirgsbildung bis jetzt nicht ganz 1 % betragen hat."

Nur eine Frage steht, nachdem ein gewichtiges Bedenken gegen die moderne Theorie der Gebirgsentstehung als beseitigt gelten kann, jetzt noch der Beantwortung offen: *Woher kam es, dass in der Tertiärzeit Erdregionen sich im Zustande einer gewissen Plastizität befanden, deren Gestein in der geologischen Gegenwart dieser Eigenschaft vollkommen verlustig gegangen ist?* Hierauf lässt sich erwidern, dass jedenfalls in der langen Zeit, welche uns von derjenigen der Faltenbildung trennt, auch die Denudation sehr gewaltige Fortschritte gemacht und die Gebirge um ein ganz beträchtliches erniedrigt hat. Wenn dieselben aber vormals sehr viel höher waren, als sie gegenwärtig sind, dann lastete auch auf den deformierten Schichten ein sehr starker Druck, und wir haben ja gesehen (S. 62), dass für die Lage der Plastizitätszone nicht sowohl deren Abstand vom Erdmittelpunkte als vielmehr die Grösse des auf den unter anderen Umständen im festen Aggregatzustande erscheinenden Körper ausgeübten Druckes massgebend ist. Doch darf gewiss auch zugegeben werden, dass die Plastizität keine ganz vollständige war, dass manche anscheinend kontinuierlich verlaufende Falte sich in Wirklichkeit aus Bruchstücken zusammensetzt, indem dieselben durch die gewaltige Pressung wieder zu einem Ganzen verkittet wurden. Diese Möglichkeit, die zumal nach dem, was neuere Versuchsreihen hinsichtlich der *Verfestigungsfähigkeit loser Körper durch Druck* uns gelehrt haben [2]), gewiss nicht von der Hand ge-

[1]) *A. Heim,* Ueber Stauung und Faltung der Erdrinde, Basel 1878. S. 25.

[2]) Zumal *Spring* hat uns in dieser Beziehung mit merkwürdigen Resultaten überrascht. Es gelang ihm, Wismutpulver durch Druck in eine vollständig feste Masse, in einen scheinbar ganz homogenen Wismutblock überzuführen, welcher an Bruchstellen reinen Metallglanz zeigte. Ferner hat erst in allerjüngster Zeit *Kick* den Nachweis erbracht, dass spröde Körper, wie Gips, Steinsalz, Kalzit u. a., wenn nur der Druck gehörig gesteigert zu werden vermag und wenn derselbe von allen Seiten möglichst gleichförmig einwirkt, zum Fliessen gebracht werden können. Wenn dies denkbar ist, so wird man sich doch noch viel leichter denken können, dass eine teilweise zermalmte Steinmasse, auf welcher wieder andere Felsmassen von vielleicht einigen Kilometer Mächtigkeit aufruhen, durch deren Druckkraft wieder zu einem kompakten Ganzen verfestigt werden kann. Jeder neue Fortschritt gewisser Industrien bethätigt übrigens eine Annäherung an den Zustand der latenten Plastizität starrer Körper im Sinne *Heims*. Wir haben hierbei insbesondere das rasch berühmt gewordene *Mannesmannsche Walzverfahren* im Auge. Man hört, dass Röhren aus Metall in der unerhörtesten Weise durch Druck und Streckung gemisshandelt werden, ohne dass irgendwie ein Knick oder Riss entsteht. Wenn man aber Metalle, die gewiss an sich einen spröderen Stoff darstellen, als Kalkstein,

wiesen werden darf, ist insbesondere von *Stapff*, dem gründlich erfahrenen Geologen des Gotthardunternehmens, in den Vordergrund gerückt worden. Dabei mag auch die selbst noch in grossen Tiefen nachzuweisende *Gesteinsfeuchtigkeit*, auch *Bergschweiss* genannt, ihre Mitwirkung geleistet haben.

Eine hinter uns liegende Zeit hat es an Bemühungen nicht fehlen lassen, die *grossen Leitlinien der irdischen Gebirgsentwicklung* aprioristisch, d. h. durch richtige mathematische Schlüsse aus unrichtigen Prämissen, festzulegen [1]). Wir gehen auf dieselben, denen heute nur noch ein geschichtlicher Wert zukommt, nicht näher ein. Ganz etwas anderes ist es dagegen, im Sinne von *Suess* den auf gemeinsamen Faltungsvorgängen beruhenden Zusammenhang der Gebirgszüge zu studieren, diejenigen Stücke der Erdrinde, welche heftigen Gleichgewichtsstörungen unterworfen waren, von denjenigen zu unterscheiden, welche man *Tafeln* nennt, und welche entweder während sämtlicher geologischer Zeitalter oder doch während vieler solcher von namhaften geodynamischen Kraftäusserungen unberührt geblieben sind. Es werden sich dann auch Oertlichkeiten finden, in denen zwei von verschiedenen Schubkräften ausgegangene *Stauungsbewegungen* sich begegnet sind, *Interferenzstellen,* bei denen die *Anscharung* eines Kettengebirges an ein anderes stattgefunden hat. Eine ins Detail gehende Durchsuchung der Erdoberfläche und eine auf die angedeuteten Kennzeichen sich stützende Einteilung ihrer Erhebungen muss jedoch bis zu dem die Morphologie der Erdoberfläche einheitlich behandelnden Abschnitt XVII vertagt werden.

VI. Hebungen und Senkungen.

Niveauveränderungen im allgemeinen. Wenn ein durch Ausstrahlung in den kalten Weltraum bedingter Wärmeverlust die wahre Ursache für die Erdkontraktion und in zweiter Linie für die Runzelung der Oberfläche unseres Planeten gewesen ist, so müsste, sollte man meinen, dieser Vorgang noch bis heute nachwirken. Denn es ist keinem Zweifel unterworfen, dass die Erde in fortschreitender Abkühlung begriffen ist, und wenn diese auch nicht mehr rasch genug fortschreitet, um mit jähem Rucke ganze Schichtkomplexe in Falten zu legen, so sollte sie doch wohl im Gezimmer

ohne Schmelzung in beliebige Formen zu bringen vermag, weshalb sollte die bruchlose Umformung des Gesteines eine Unmöglichkeit sein?

[1]) Einer sehr viel besprochenen Konstruktion der Gebirge a priori, derjenigen von *Elie de Beaumont*, ist oben (S. 101) schon erwähnt worden. Andere Gelehrte haben dadurch gefehlt, dass sie — wie z. B. *Buache* — sich lediglich an das Kartenstudium hielten und, von äusserlichen Aehnlichkeiten verführt, die Gebirge verschiedener Erdteile miteinander in Beziehung setzten.

der Erdrinde Veränderungen und in deren Konsequenz *Niveauverschiebungen* auf der Erdoberfläche hervorzubringen vermögen. In den beiden nächsten Abschnitten werden wir die vulkanischen und noch mehr die seismischen Erscheinungen mit solchen internen Gleichgewichtsstörungen in Verbindung bringen, und auch die äusserlich sichtbaren Höhenveränderungen verdienen immerhin beachtet zu werden. Schon aus dem vorigen Jahrhundert sind uns durch *Bergman* aus verschiedenen Teilen Europas Nachrichten übermittelt worden, denen zufolge gewisse Fixpunkte (Berggipfel, Kirchturmspitzen u. dgl.), die man früher von einem anderen Orte aus erblicken konnte, diesem entrückt wurden, während wieder anderswo entfernte Gegenstände sich über den Gesichtskreis erhoben haben sollen, welche vordem nicht sichtbar gewesen waren. Aehnliche Berichte hat später *Zeune* zusammengestellt, und es verdient bemerkt zu werden, dass einzelne dieser Angaben sich auf die Umgebung der Stadt Jena in Thüringen bezogen, denn gerade dort scheinen sich unaufhörlich ähnliche Verschiebungen zu ereignen. *Kahle* hat aus den dortigen Bergen, deren Formation grösstenteils dem oberen Buntsandstein (S. 90) angehört, eine ganze Fülle von angeblich bezeugten Thatsachen dieser Art gesammelt, und so schwierig es ist, diejenigen Fälle, welche auf die Verkleinerung des Erdhalbmessers sich zurückführen lassen, von denjenigen zu trennen, denen eine ganz andere Ursache zugrunde liegt [1]), so kann man doch nicht umhin, einzelnen Beobachtungen Realität zuzuerkennen.

Ganz sichere Erkenntnis, ob dem so sei, kann allerdings nur ein *Präzisionsnivellement* gewähren, d. h. eine direkte, mit Aufgebot aller Vorsichtsmassregeln ins Werk gesetzte Höhenbestimmung der verdächtigen Punkte [2]). Alle Länder unseres Erdteiles sind, seitdem das europäische Gradmessungswerk (S. 29) auch diese Arbeiten umspannt, mit *Präzisionspolygonen* oder *Nivellementsschleifen* überdeckt, durch welche auch die minimalste Vertikalverschiebung eines jeden auf einer Polygonseite gelegenen Punktes sicher ermittelt werden kann. In Bayern scheint der Erdboden seit zwanzig Jahren keine nennenswerten Störungen seiner Ruhe erfahren zu haben, während es sich in der Schweiz, nach *Heims* Ansicht, anders ver-

[1]) Die geologische Metamorphose (S. 85) kann ganz wohl Niveauveränderungen, wenn auch nur von kleinem Ausmasse, zur Folge haben. Erdfälle und Erdschlipfe, wie wir sie unten in Abschnitt XVII kennen lernen werden, dürfen ebenfalls nicht ausser acht gelassen werden, und auch die Art der Kultur des Bodens ist nicht einflusslos. Ohne dass der Beobachter etwas davon weiss, kann zwischen ihm und der anvisierten Oertlichkeit eine Abholzung vorgenommen und durch diese die Sehlinie frei gemacht worden sein.

[2]) Zur vorläufigen Orientierung kann eine geometrische Betrachtung dienen, wie sie *Penck* (Anleitung zur deutschen Land- und Volkskunde, Stuttgart 1889. S. 45) anstellt. Allein entscheidend kann eine solche um deswillen nicht sein, weil in jedem einzelnen Falle auch die terrestrische Strahlenbrechung (s. u. in Abschnitt IX) in Rechnung zu ziehen ist. Diese kann aber sehr oft gross genug werden, um einen fernen Punkt oberhalb eines Gebirgsrückens u. dgl. erscheinen zu lassen, der geometrisch unter dem letzteren liegen würde.

hält. Spruchreif ist der Gegenstand noch nicht, es muss ein weit grösseres Erfahrungsmaterial angesammelt werden; vielleicht ist späterhin die (S. 55) soeben lebhaft erörterte chronische Veränderung der Polhöhen verschiedener Städte imstande, klarer über solche geotektonische Fragen urteilen zu lassen.

Verschiebungen der Wasserlinie. Eine der grössten Schwierigkeiten, welche sich der Prüfung von Angaben der bezeichneten Art entgegenstellen, besteht darin, dass immer nur *relative Höhenschätzungen* vorliegen, solange man sich im Binnenlande bewegt, dass dagegen eine *absolute Höhenbestimmung* sehr schwierig, nur auf nivellitischem Wege möglich ist. Nun wissen wir aber, dass jede ruhige Wasserfläche eine Niveaufläche der Erde darstellt, und wenn auch die einzelnen Meere nicht gerade Teile der nämlichen Niveaufläche sind, so ist doch der Niveauunterschied der einzelnen Wasserspiegel ein sehr geringfügiger und überdies ein durch Präzisionsnivellement genau festgestellter. *Da also, wo Wasser und Festland an einander grenzen, muss sich die beste Gelegenheit ergeben, zu erkennen, ob bestimmte Punkte der Erdfeste ihre Entfernung vom Erdmittelpunkte verändern oder nicht.* Allerdings wird dabei zunächst vorausgesetzt, dass die Gleichgewichtsfläche selbst, von der ab man die Höhen misst, ihre Lage unverändert beibehalte; wäre dem nicht so, dann würde allerdings das in Rede stehende Problem ein sehr verwickeltes werden, wie es das auch thatsächlich ist.

Schwedische Naturforscher waren es, welche im Verlaufe des XVIII. Jahrhunderts die für Beobachtungen solcher Art sehr geeignete Felsküste ihres Landes dazu benützten, die näheren Umstände der Niveauverschiebung zu ergründen. *Celsius, Linné, Chydenius, Nordenankar* sind es vornehmlich gewesen, die in diesem Sinne thätig waren, um gewisse mehr nur hingeworfene Andeutungen ihrer Landsleute *Hjaerne* und *Swedenborg* zu kontrollieren. Man schlug Marken in den Fels gerade an denjenigen Stellen ein, in welchen sich derselbe mit der Wasserfläche berührte, und als man nach Verlauf mehrerer Jahre die Marken wieder nachsah, fand man, dass dieselben um ein namhaftes vom Mittelwasserstande der Ostsee entfernt waren. Diese Thatsache liess nur eine zweifache Deutung zu: *entweder war die See zurückgegangen oder das Land hatte sich aus dem Wasser herausgehoben.* Heftige Streitigkeiten erhoben sich zwischen den für die eine und für die andere der beiden Hypothesen Eintretenden, um so mehr, als andere Küstenstellen die erwähnte Wahrnehmung nicht nur nicht zu bestätigen, sondern sogar gegen sie zu sprechen schienen. Allmählich sammelte man auch an anderen Meeresküsten Beobachtungen und verglich dieselben unter einander, allein es schien lange, ja es erscheint heute noch nicht möglich, irgend eine durchgreifende Gesetzmässigkeit für die alternierende Bewegung des Küstensaumes auszumitteln.

Um vorerst wenigstens das Thatsächliche der Erscheinung dem Streite der Parteien zu entrücken, machte *E. Suess*, der sich um die Klärung dieser Fragen und insbesondere auch um deren ge-

schichtliche Erforschung grosse Verdienste erworben hat[1]), den beherzigenswerten und wirklich auch von vielen beherzigten Vorschlag, *eine indifferente Terminologie anzuwenden*[2]). Wenn das Land im scheinbaren Kampfe mit dem Meere den Sieg davonträgt, wenn Festlandpartien trocken gelegt werden, welche in früherer Zeit vom Wasser bedeckt waren, so hat sich die Grenzlinie gegen den Erdmittelpunkt hin, also im Sinne des Minuszeichens[3]), verschoben, und wir sprechen deshalb von einer *negativen Niveauverschiebung;* wenn andererseits das Wasser dem Anscheine nach steigt, wenn also die Wasserlinie nach oben verlegt wird, so liegt eine *positive Niveauverschiebung* vor. Solange diese Ausdrücke gebraucht werden, ist man folglich der Pflicht enthoben, sich von der Art, wie eigentlich die Verschiebung erfolgt ist, eine bestimmte Vorstellung zu machen.

Kriterien einer Niveauverlegung. Seit geraumer Zeit haben sich die Geographen damit beschäftigt, bestimmte Kennzeichen anzugeben, mittelst deren zu erkennen ist, ob eine gegebene Küste während einer bestimmten Zeit einer positiven oder negativen Bewegung der Wasserlinie teilhaftig gewesen sei. *Direkte* Beweise, wie in dem vorhin besprochenen Spezialfalle der baltischen Küste Schwedens, wird man nur ausnahmsweise zur Verfügung haben, und für gewöhnlich muss man sich mit *indirekten Merkmalen* behelfen. In dem Bestreben, solche aufzufinden, hat man manchmal des Guten zu viel gethan, und mancher Strand steht deshalb in den Lehrbüchern als ein in bestimmtem Sinne veränderlicher verzeichnet, während eine sichere Entscheidung, ob seine Niveaulinie sich verschiebt, zur Zeit noch gar nicht getroffen werden kann.

Das sicherste Mittel gewähren offenbar die *Strandlinien*, d. h. gradlinige Züge, längs deren früher einmal thatsächlich das Meer mit dem Festlande in Berührung stand, und welche auf die verschiedensten Weisen sich gebildet haben können. Steilküsten können durch die Brandung längs einer solchen Linie einen deutlich erkennbaren Einschnitt erfahren haben (Norwegen, s. Abschnitt XVI); Pflanzen (Lappland) und Tiere (Algerien), vor allem Muscheln, können an dem aus dem Meere aufragenden Felsgesteine hängen geblieben sein, und da diese Organismen ausser unmittelbarer Berührung mit dem Salzwasser nicht leben können, so vertritt deren Ansammlung mit gutem Rechte auch eine Strandlinie. Alte Strandlinien, welche gegenwärtig trocken gelegt sind, sprechen mithin unzweideutig für eine negative Niveauverschiebung. Hierher gehört auch die Vereinigung einer nicht ferne vom Gestade gelegenen

[1]) Der zweite Band von *Suess'* berühmtem Werke „Das Antlitz der Erde" ist zu einem grossen Teile der Klarstellung dieser Verhältnisse gewidmet.

[2]) *Suess* selbst erinnert daran, dass zuerst 1848 der Engländer *Chambers* die Strandverschiebungen als *„Shifts of relative Level"* bezeichnet habe.

[3]) Wenn wir längs eines Erdradius Entfernungen messen, so verlegen wir ganz von selbst den Nullpunkt in das Erdzentrum und betrachten einen von diesem sich entfernenden Punkt als in positivem Sinne bewegt.

Insel mit dem Festlande, hierher das stetige Seichterwerden einer Bucht, eines Hafens. Den alten Geschichtschreibern, deren Erzählungen freilich stets mit Vorsicht aufgenommen werden müssen — zumal hinsichtlich etwaiger numerischer Daten —, kann man zahlreiche Belege obiger Art entnehmen; so ist z. B. die äusserste Westküste Siziliens seit der älteren Römerzeit sicherlich in einer negativen Niveaubewegung begriffen, denn während das dortige Hafenbecken im ersten punischen Kriege Raum für ein Seetreffen dargeboten hatte, gewährt es heutigestags nur noch Schiffen von sehr geringem Tiefgange die Einfahrt.

Auf die entgegengesetzte Bewegung der Wasserlinie gestattet in vielen Fällen das thatsächlich vorgekommene Versinken menschlicher Wohnungen zu schliessen. Wenn man ganze Strassen oder, wie in der Nähe von Venedig, Mosaikböden auf dem Grunde des Meeres wahrnimmt, so darf man gemeiniglich wohl vermuten, dass sich die Wasserlinie nach oben, also in positivem Sinne, verschoben habe, aber freilich können auch bei sehr plausibel erscheinenden Schlüssen dieser Art arge Missverständnisse mitunterlaufen [1]). Die Auffindung *submariner Torflager* pflegt gleichfalls zu den unwiderlegbaren Beweisen für eine analoge Niveauverlegung gerechnet zu werden, allein dem wird von *Penck* mit Recht entgegengehalten, dass der Torf sehr wohl in dem süssen Wasser, welches er zu seiner Bildung nötig hat, entstanden sein und nachgerade, ohne eigentliche Landsenkung oder Seespiegelhebung, unter die Meeresfläche geraten sein kann. In der nächsten Nähe der sandigen Flachküsten findet

[1]) Anhäufungen von Speiseüberresten und Küchenabfällen, in Dänemark als *Kjökkenmöddinger*, in Brasilien als *Sambaquis* bekannt, werden nicht bloss am Rande des Festlandes, sondern auch in ziemlicher Tiefe unter dem Meeresspiegel vorgefunden, allein dann erscheint es, falls nicht eingehende Untersuchung eines Besseren belehrt, keineswegs unmöglich, dass der freie Wille des vorgeschichtlichen Menschen solche Massen ins Meer versenkt habe. — Dasjenige, was der Mensch gethan, wird überhaupt mitunter viel zu wenig berücksichtigt; das beweist am klarsten der berühmt gewordene *angebliche Serapistempel von Puzzuoli* (unweit Neapel). Dort, auf altvulkanischem Boden, ragen aus dem Meere mehrere im ganzen wohl erhaltene Säulen empor, welche nach der Ueberlieferung eben einen Bestandteil jenes Tempels gebildet haben sollen. Während aber oben und unten diese Säulen ganz glatt sind, erweist sich das Mittelstück rauh und zerfressen; zahlreiche Löcher, in deren einzelnen noch die Tiere stecken, setzen es ausser Zweifel, dass eine Bohrmuschel (Lithodomus L.) die Zerstörung bewirkt hat. Da nun das Gotteshaus, wenn es eines war, ganz gewiss nicht mit Absicht ins Nasse hineingebaut worden ist, so bleibt anscheinend zur Erklärung des auffallenden Vorkommnisses nur die Annahme einer überaus energischen oszillatorischen Strandverschiebung übrig: zuerst war dieselbe positiv, damit die Säulen bis über die Hälfte ihrer Höhe ins Wasser gelangen konnten, und dann muss sie, um jene wieder herauszuheben, negativ geworden sein. Ein so abrupter Wechsel, noch dazu in historischer Zeit, gab, selbst wenn man die vulkanischen Kräfte stark inanspruch nahm, ein unlösbares Rätsel auf, und so haben denn seit *Breislak*, *Goethe* und *v. Buch* zahlreiche Geologen — wir nennen nur *Lyell*, *Vogt* und *Suess* — sich an der schweren Aufgabe versucht. Nachdem jedoch *Brauns* es überaus wahrscheinlich gemacht hat, dass das fragliche Gebäude gar kein Tempel, sondern eine Piszine, ein künstlicher Fischbehälter, gewesen sei, ist der Knoten zwar nicht gelöst, aber doch seines Geheimnisses entkleidet.

man nämlich gar oft Lagunen oder Strandseen mit ursprünglich salzigem, nach und nach jedoch ausgesüsstem Wasser, das sich zur Torfbildung ganz wohl eignet. Nachdem dieselbe einige Zeit angedauert hat, wird der Meersand über jenes Binnengewässer weggeweht; die Dünen drücken die Torfmassen in ein tieferes Niveau hinab, und in diesem kommt der Torf, nachdem die wandernden Sandhügel über ihn weggegangen sind, wieder zum Vorschein, ohne dass eine wirkliche Bewegung der Strandlinie nach unten oder oben sicher zu konstatieren wäre.

Besonders misstrauisch hat man sich zu verhalten gegen alle Berichte von einer sogenannten *Schwengelbewegung*. Mit diesem Worte will man die Bewegung einer Küste kennzeichnen, welche diesseits eines angeblich fest bleibenden Punktes, des *Drehpunktes*, ansteigt und jenseits desselben im Sinken begriffen ist. Es liegen in der Litteratur von den verschiedensten Gegenden solche Notizen vor, allein sie sind durchaus wenig beglaubigt. Vielleicht das meiste Vertrauen verdienen noch die Beobachtungen *Kane*s, der, an der Westküste Nordgrönlands hinabfahrend, allerorts noch Spuren von Strandhebung und Strandsenkung suchte. Seiner hierbei gewonnenen Ueberzeugung zufolge sollte der Fixpunkt der Schwengelbewegung im Smith-Sund unter 77 ⁰ n. Br. liegen, wogegen *Bessels* eben denselben zwischen 74 ⁰ und 75 ⁰ aufgefunden zu haben glaubte. Sicherer bezeugt sind die *oszillierenden Niveauverschiebungen*, welche bewirkten, dass eine gewisse Grenzzone während des einen Zeitraumes vom Wasser bedeckt, während eines anderen dagegen trocken gelegt erscheint. Hierher gehört als Musterbeispiel die Ostküste der Vereinigten Staaten.

Man ersieht aus unseren Mitteilungen, dass die Frage nach der Erkennung der Art der Strandverschiebungen eine schwierige, weiterer Erforschung noch sehr bedürftige ist. Die Arbeiten von *Hahn, Suess* u. a. haben sowohl die Kritik, als auch unseren thatsächlichen Wissensstand sehr gefördert, aber dieser letztere muss desungeachtet noch als ein mangelhafter anerkannt werden.

Geographische Verteilung der positiven und negativen Strandverschiebungen. Eben aus diesem Grunde leisten wir darauf Verzicht, die Oertlichkeiten, für welche man Niveauverlegungen von bestimmtem Vorzeichen da und dort angegeben findet, auf einer Erdkarte zu fixieren, obwohl es an beachtenswerten Versuchen, solche kartographische Darstellungen zu liefern, nicht fehlt. Wir beschränken uns auf eine Reihe thatsächlicher Mitteilungen über Küstengegenden, die man gründlich zu erforschen Gelegenheit hatte.

In *Europa* kann eine negative Niveauverschiebung für ganz Skandinavien als sichergestellt gelten; auch auf Finnland scheint sich diese Bewegung zu erstrecken, und die ganze Polarwelt hat seit der Diluvialperiode unausgesetzt Landgewinn zu verzeichnen [1]).

[1]) Es ward hier allerdings noch an der bis jetzt allseitig anerkannten, durch *Suess* aber bekämpften Voraussetzung festgehalten, dass die alten Strand-

Das südliche Ufer des Baltischen Meeres, welches ja grösstenteils der viel leichter kontrollierbaren Steilküsten entbehrt, gehört zu denjenigen Partien, deren Charakter vorläufig noch undefinierbar ist, denn während *Geinitz* in Mecklenburg deutliche Spuren einer quartären Landhebung auf geologischem Wege aufgefunden haben will, ist *Paschen* durch Berechnung der Pegelbeobachtungen zu dem entgegengesetzten Ergebnisse einer Landsenkung gelangt, und in Pommern lässt sich nach *P. Lehmann* weder die eine noch die andere mit einiger Sicherheit erkennen. Negative Bewegung der Strandlinie scheint für den grössten Teil der Atlantischen Küste Europas das Wahrscheinlichere zu sein, doch sind die Anhaltspunkte, nach denen man auch Nordspanien in diese Klasse einreihen wollte, sehr schwankend. Die englischen und schottischen Küsten weisen eine positive, Irland im Gegenteile weist eine negative Bewegung der Wasserstandslinie auf, die aber wahrscheinlich mehr einen oszillatorischen Typus trägt [1]). Längs des ganzen Mittelmeeres ist eine negative Verschiebung vorherrschend, und auch gegen die vermutete positive Verschiebung des tunesischen Uferrandes ist Widerspruch laut geworden.

*Asien*s Küsten sind uns zu wenig bekannt, um bestimmte Schlüsse möglich zu machen, doch bemerkt man rings um den Indischen Ozean Spuren genug, dass das Wasser einst höher stand, als es gegenwärtig steht; vielfach wird deshalb auch das genannte mächtige Wasserbecken als ein weites *Senkungsfeld* angesprochen. Zumal die Inseln, Ceylon, Sumátra, die Andamanen, Nikobaren, Malediven und Lakkediven [2]), liefern Beweise für die Richtigkeit dieser Behauptung. Viel unklarer liegen die Dinge an der *ostafrikanischen* Küste; die Maskarenen scheinen in den Ozean hinabzutauchen, die Komoren sich aus demselben zu erheben. Im Erdteile *Australien* hat zweifellos das negative Vorzeichen stark die Oberhand.

Wenn wir uns endlich nach *Amerika* hinüberwenden, so müssen wir für Neu-Granada und Venezuela, für welche beide Staaten interessante Berichte aus der Zeit der spanischen Konquistadoren vorliegen, einen stetigen Landgewinn infolge scheinbaren Rückganges

linien wirklich die voreinstige Anwesenheit des Meeres an der treffenden Stelle bekundeten. *Suess* hält jedoch dafür, dass die Fjorde während der Eiszeit durch vordringende Gletschermassen vollständig von der freien See abgeschnürt, aus Meerbusen in geschlossene Eisseen verwandelt gewesen seien, und dann allerdings würden die Ufermarken bloss angeben, wie hoch unter ganz ausserordentlichen Umständen eine begrenzte Wassermasse emporgehoben werden konnte. Wir werden in Abschnitt XVI auf die Sache zurückkommen und gewissen Bedenken gegen die von *Suess* formulierten Sätze Ausdruck verleihen; ebendort wird der neuen Beobachtungen *Sandler*s zu gedenken sein.

[1]) Gegenwärtig steigt Irlands Küste aus dem Meere auf. Vor zwei- bis dreihundert Jahren machte umgekehrt die See, resp. der aus ihr kommende Dünensand Eroberungen; *Hamilton* erzählt, dass die zuletzt 1626 in den Chroniken genannte Stadt Bannow (in der Grafschaft Wexford) bald nachher von den Wanderdünen ganz und gar zugeschüttet worden sei.

[2]) An letzterer Inselgruppe hatte schon im Mittelalter das scharfe Auge des Arabers *Albîrunî* diese Entdeckung gemacht.

des Meeres zugeben; vorhanden ist ein solcher allerdings auch in Guayana, allein hier kann er sehr wohl auch blossen Anschwemmungen sein Dasein verdanken. Sehr unsicher sind wir bezüglich Brasiliens; was z. B. verschiedene Reisende als ihre an den Küsten der Insel Fernando Noronha gemachten Beobachtungen angeführt haben, das lässt sich nach *Suess* unmöglich zu einem Gesamtbilde vereinigen. An der Küste von Ecuador hat *Th. Wolf* Spuren alter Strandlinien bemerkt, die also für eine negative Verlegung des Uferrandes ins Gewicht fallen würden.

Gründe der Uferlinienverschiebung. Die Frage nach der Erklärung der Vorgänge, welche das Auf- und Abwandern der Niveaulinie bedingen, steht zur Zeit im Vordergrunde des wissenschaftlichen Interesses, und es fällt deshalb sehr schwer, eine einigermassen abgerundete Uebersicht über deren gegenwärtigen Stand zu geben. Wir können nicht einmal mit Bestimmtheit sagen, ob wir die Erscheinung der *säkulären Hebungen* und *Senkungen* in unmittelbare ursächliche Beziehung setzen dürfen zu den im Eingange dieses Abschnittes gestreiften binnenländischen Niveauveränderungen, zu den von *Issel* und *Uzielli* studierten *bradyseismischen Bodenbewegungen* [1]) und zu den ebenfalls seit längerer Zeit regelmässig beobachteten *chronischen Schwankungen des Erdbodens* [2]). Es ist eben fürs erste noch keineswegs ausgemacht, welchem von den beiden die Erscheinung bedingenden Elementen die aktive, welchem die passive Rolle zukommt, mit anderen Worten: *bewegt sich die Erdfeste*, *oder bewegt sich das Meer?* Verfolgt man die Anschauungen, welche hierüber zu verschiedenen Zeiten herrschten, rückwärts bis zu dem ersten Auftauchen der Streitfrage, so steht man mit einigem Erstaunen vor einer in der Geschichte der Erdphysik allerdings zu wiederholtenmalen — z. B. bei der Lehre von den Gletscherbewegungen — hervortretenden Thatsache. *Eine ältere Theorie nämlich, welche vielen bereits für völlig veraltet galt, drängt, nachdem sie mit neuen Gesichtspunkten befruchtet worden war, diejenige wieder zurück, welche ursprünglich an ihre Stelle getreten war.*

Die schwedischen Gelehrten, deren wir im Eingange dieses Abschnittes gedachten, waren darüber einig, dass die Meere in stetem Rückgange begriffen seien, und nur *Browallius* vertrat den

[1]) Im übernächsten Abschnitte wird von diesen Bewegungen, wie schon ihr Name aussagt (βραδύς, langsam; σεισμός, Erschütterung), als von einem Spezialfalle der Erdbeben wiederum die Rede sein müssen.

[2]) Wir unterscheiden schärfer, als es andere Schriftsteller thun, eine *Verschiebung* von dem allgemeineren Begriffe der Schwankung; erstere ist nur eine *Schwankung*, deren Pivot in unendlicher Entfernung liegt. Die bradyseismischen Bewegungen sind einfache Verschiebungen, wogegen die eigentümlichen *Bewegungen der Libellenblase* (S. 31), welche in Genf von *Ph. Plantamour*, in München von *Lamont* und *v. Orff* lange Jahre verfolgt worden sind, mehr mit einer chronischen Schwankung des Bodens in Verbindung zu bringen sein dürften. Es ist bisher noch nicht daran zu denken gewesen, diese Hebungen und Senkungen, welche in letzter Instanz wohl eine klimatische Ursache haben mögen, als einer gewissen Gesetzlichkeit unterworfen nachzuweisen.

entgegengesetzten Standpunkt, für dessen Festhaltung jedoch bei ihm wohl nicht bloss naturwissenschaftliche, sondern auch religiöse Gründe massgebend waren. Eine sehr verständige Neubearbeitung des Problemes durch den Admiral *Nordenankar* blieb wenigstens in Deutschland, bis auf *Suess,*, ganz unbeachtet [1]). Die plutonische Schule *L. v. Buch*s hatte mit dem Gedanken, dass ganze Kontinente durch subterrane Kräfte in die Höhe gehoben werden und beim Nachlassen des Druckes von unten wieder zum Sinken, zum *Nachsacken* [2]), gebracht werden könnten, leicht Freundschaft geschlossen, und auch *Lyell,* der sonst kein Freund der Erhebungslehre war, ist mit dem ganzen Gewichte seines Namens für die säkulären Schwankungen der Festlandmassen eingetreten. In unserem Vaterlande hat *Peschel* eine Zeitlang den Sieg dieser Lehre entschieden, obwohl er es vermied, von den näheren Umständen des Hebungs- und Senkungsprozesses, wie er ihn sich dachte, ein klares Bild zu geben. Englands Geophysiker sind, wie wir schon sahen, der grossen Mehrzahl nach überzeugte Anhänger der Lehre, dass die Innenseite der festen Erdkruste sich direkt mit der Oberfläche des im Erdinneren wogenden magmatischen Glutmeeres berühre, und alsdann kann man sich allerdings von dem Verlaufe, den wir äusserlich kennen lernten, unschwer eine Vorstellung machen. Auch *Pilar* fasst die Grundlagen seiner „Abyssodynamik“ in ähnlicher Weise auf. Folgendes ist der Kern dieser Auffassung:

Die Erdkruste zerfällt in Schollen, deren Unterseite vom Magma bespült, deren Gewicht vom Magma sogar unter gewissen Umständen teilweise getragen wird. Ungleiche Belastung dieser Schollen kann bewirken, dass einzelne derselben tiefer in das Glutmeer eintauchen, andere wieder, wenn der Druck nachlässt, in die Höhe getrieben werden. Hubschollen werden durch eine negative, Sinkschollen durch eine positive Bewegung der Niveaulinie charakterisiert.

Vor den mancherlei physikalischen Unwahrscheinlichkeiten, mit welchen diese auf den ersten Anblick sehr einleuchtende, zumal die Möglichkeit einer Schwengelbewegung ganz befriedigend erklärende Theorie verbunden ist [3]), sei hier nur die eine hervorgehoben, dass ein sprungweiser Uebergang vom Magma zur festen Erdrinde ohne alle denkbaren Zwischenzustände nimmermehr zugegeben werden

[1]) *Nordenankar* betrachtete die Ostsee als einen Binnensee, der sich erst in jüngerer geologischer Vorzeit die Verbindung mit dem Weltmeere eröffnet habe. In absehbarer Zeit würde der durch die Belte und den Sund passierende Ausgleichungsstrom so viel Wasser dem Ozean zugeführt haben, dass dadurch, trotzdem zahlreiche Flüsse einmündeten, die Nivellierung der Oberflächen bewirkt werde, und von dem Augenblick an, da dieser Beharrungszustand erreicht sei, werde der gegenwärtig immer noch fortschreitende Rückgang des Ostseespiegels sein Ende erreichen.

[2]) Ein von *L. v. Buch* selbst gebrauchter, dem Hüttenwesen entnommener Ausdruck.

[3]) Würde man nach den strengen Regeln der Potentialtheorie (S. 46) die Niveauveränderungen berechnen, welche bestimmten Belastungen einer der supponierten Schollen entsprechen, so würde man einen weiteren Beleg für die Unstichhaltigkeit der Annahme so namhafter Verschiebungsbeträge erhalten.

kann. Man begann, soweit man jener Ansicht nicht beipflichtete, deshalb sehr aufmerksam zu werden, als *Tyler* und *Trautschold* aufs neue für eine *progressive Meeresschwankung* — der letztere sogar für eine *progressive Wasserabnahme auf der Erde* — sich aussprachen. Aber erst *Suess* vermochte auf Grund seiner geologischen Durchforschung der Erdoberfläche die neue resp. alte Lehre, nach welcher die wirkliche Bewegung des Wassers die Verschiebung der Uferlinie zur Folge haben soll, zu einem Systeme zusammenzufassen.

Nur den Hauptgedanken desselben können wir an diesem Orte wiedergeben. *Suess* nimmt an, dass eine *das gesamte Weltmeer umfassende regelmässig-periodische Schwankung* ununterbrochen im Gange sei, kraft deren in gewissen Zeiträumen das Wasser von den Polen zum Aequator, in anderen hinwiederum vom Aequator zu den Polen ströme. Diesen oszillatorischen Strömungen stellt er die *eustatischen Bewegungen* gegenüber. Abgesehen von einzelnen mehr lokalen Vorkommnissen kann man nämlich *episodisch-negative* Bewegungen der Wasserlinie, *wie sie von der Bildung von Meeresbecken durch Einbruch und Senkung unzertrennlich sind*, und *episodisch-positive* Bewegungen der Wasserlinie unterscheiden, *wie sie der Bildung von Sedimenten entsprechen.* Beide Gattungen von Grenzveränderungen des festen und flüssigen Elementes sind eustatisch.

Während wir den Meeresbewegungen erstgenannter Art gegenüber schon um deswillen grosse Reserve beobachten zu müssen glauben, weil für die Existenz derselben selbst in dem über diesen wichtigen Punkt mit zu grosser Kürze hinweggehenden *Suess*schen Werke kein wirklicher Beweis anzutreten versucht wird[1]), können wir wohl zugeben, dass die Formulierung des Begriffes der eustatischen Bewegungen ein neues und kräftiges Ferment in diese schwierige Materie hineinträgt. Vor allem steht die von *Suess* aufgestellte These — *„der Erdball sinkt ein, das Meer folgt"* — im besten Einklange mit unserer Grundvorstellung, *dass für grössere Veränderungen auf und in der Erde die Inhaltsverminderung des sich abkühlenden Erdballes die vornehmste Ursache sei.* So wenig wir einräumen dürfen, dass diese Hypothese durch das, was man Hebungen und Senkungen der Kontinente nennt, eine volle Bestätigung bereits erfahren habe, so sehen wir doch jetzt einen Weg vor uns, welcher uns zu tieferer

[1]) Man hat keine andere Wahl, als die, an eine extratellurische, kosmische Veranlassung des Hin- und Herschwankens der Gewässer zu denken, und damit ist man in einen Hypothesenzyklus eingetreten, der erst später, in Abschnitt XI, resp. XIII, seine zusammenhängende Darstellung finden kann. Schon jetzt jedoch braucht nicht verhehlt zu werden, dass man sich mit diesen Annahmen auf einen äusserst schlüpfrigen Boden begibt. *Oldham* z. B., vielleicht durch eine allerdings sehr vieldeutige Aeusserung *Schiaparelli*s — vgl. auch S. 1 — bewogen, operiert mit Stössen, welchen die Erdkugel ausgesetzt gewesen, und durch welche deren Umdrehungsachse eine ganz andere geworden sein soll. Dies aber ist ein Appell an den Deus ex machina; mit solchen Auskunftsmitteln kann man alles und jedes beweisen, negiert aber zugleich die Berechtigung ruhiger Forschung, die sich lieber bescheidet, gewisse Dinge vorläufig nicht ergründen zu können.

Einsicht in die Wechselbeziehungen zwischen den tektonischen Umlagerungen und den wechselnden Ständen des Meeres hinführen kann und wohl auch hinführen wird.

VII. Vulkanische Erscheinungen.

Begriff des Vulkanismus. Die Reaktion des feurigflüssigen Erdinneren gegen die Aussenseite unseres Planeten ist zwar gewiss kein so ausschlaggebendes Moment, als die strenge plutonistische Richtung behauptet, dass aber eine solche Reaktion vorhanden, dass also eine *von unten nach oben wirkende Kraft* häufig genug in Thätigkeit ist, das wird durch die *vulkanischen Eruptionen* klar genug dokumentiert[1]). Wir erfuhren weiter oben (S. 17), dass man im Sinne *Tschermaks* den Vulkanismus als einen allgemein-kosmischen Zustand anzusehen ein Recht hat; Weltkörper, welche der fünften der von uns unterschiedenen Gruppen angehören, erleben nur noch schwache Ausbrüche, weil der Abkühlungs- und Rindenverdickungsprozess bereits zu ansehnliche Fortschritte gemacht hat.

Wir unterscheiden *eigentliche* und *uneigentliche Vulkane;* die ersteren können wiederum solche *mit* und solche *ohne Krater* sein, unter Krater einen in das Innere der Erdkruste hineinführenden Hohlraum verstanden. Das Kennzeichen eines eigentlichen Vulkanes ist, dass geschmolzene, zähflüssige Massen von unten nach oben dringen, sei es in plötzlicher, katastrophenartiger Bewegung (*Eruption*), sei es in ruhigerem Flusse. Wenn andererseits die Intensität des Auftriebes derart abgenommen hat, dass nicht mehr das wirkliche Magma, sondern nur Dämpfe und Exhalationsprodukte, welche an jenes erinnern, aus irgendwie gestalteten Oeffnungen nach aussen gelangen, so haben wir es mit uneigentlichen Vulkanen zu thun. Immerhin müssen auch diese hier mit behandelt werden, da sie meist die letzten Ueberreste einer ganz oder temporär erloschenen eigentlich-vulkanischen Aktion darstellen; nur bezüglich der Schlammvulkane kann letzteres bezweifelt werden, aber die grosse Analogie, welche in der äusseren Erscheinung der beiden Gattungen zu Tage tritt, berechtigt dazu, auch diese Schlammvulkane mit heranzuziehen. Die *Erdbrände* jedoch, obwohl eine an Erfahrungen arme geologische Richtung auch sie mit dem Vulkanismus konfundierte, haben in Wahrheit mit diesem gar nichts zu thun[2]).

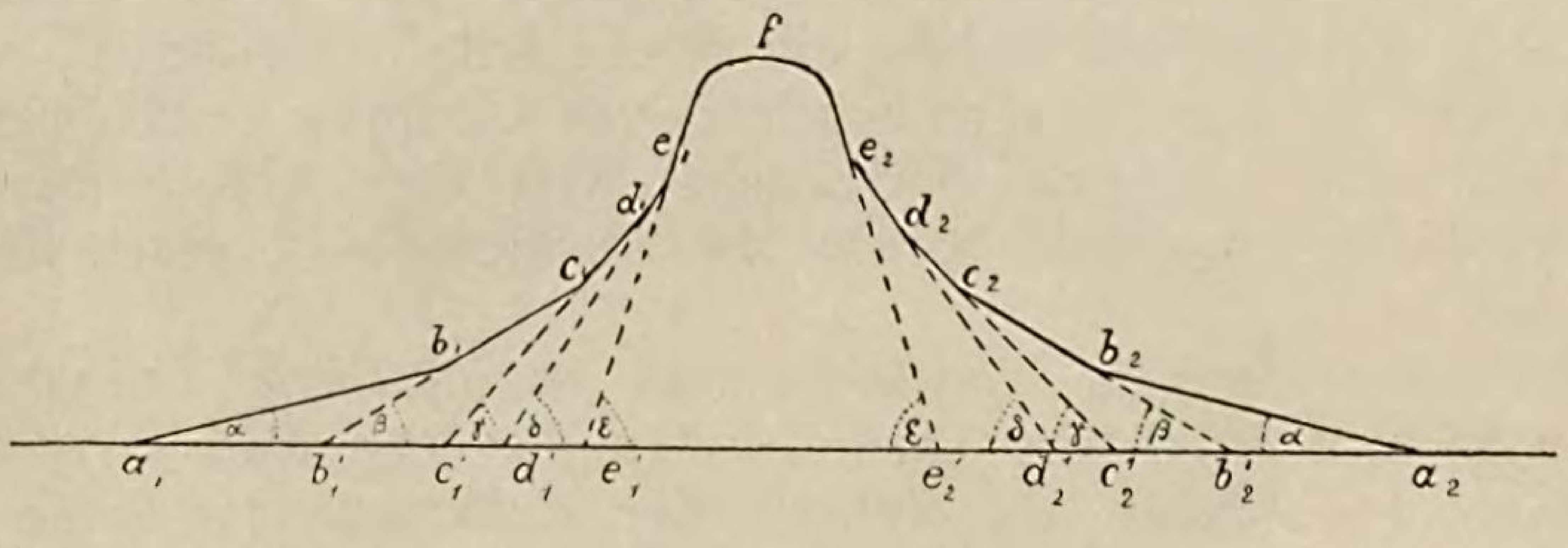
[1]) Die ältere Mythologie verknüpft die vulkanischen Katastrophen mit einem Giganten Typhoeus und nicht mit Hephästos-Vulcanus, welcher vielmehr ein segensreich wirkender Feuergott war. *Partsch* hat den Ursprung der Typhoeusfabel nach Kappadokien, in die Umgebung des erst unlängst erloschenen Feuerberges Argaeus (Erdschias-Dagh), verlegt.

[2]) Ein Erdbrand entsteht, wenn irgendwie ein unterirdisches Kohlenflötz in Entzündung gerät. Der Erdbrand beim Schlangenberge im Kirgisenlande

Strato- und Domvulkane. Dass es zwei ganz verschiedene Gattungen von Vulkanen gibt, ist soeben bereits hervorgehoben worden; es sind dies einerseits die *geschichteten* oder *Stratovulkane* und andererseits die *homogenen* oder *Domvulkane*. Beide sind Produkte ihrer eigenen Thätigkeit. Wenn man von Vulkanen schlechtweg spricht, so meint man gemeiniglich die erste Klasse, die auch ganz allein als die der *feuerspeienden Berge* bezeichnet werden kann.

Ehe ein Stratovulkan entstand, bestand ausschliesslich eine meist normal zum Horizonte stehende Zuleitungsröhre, welche zu einem in der Erdrinde verborgenen Magmaherde führte. Die Eruption, deren nähere Umstände uns sehr bald beschäftigen werden, bringt geschmolzene Massen an die Oberfläche, welche beim Niederfallen sich auf allen Seiten des Schlotes ansammeln und eine konische Masse bilden. Die nächste Eruption bewirkt, dass ein Kegelmantel sich um den bereits aufgeschütteten, vom Zuleitungskanale

Fig. 46.



axial durchbohrten Schuttkegel herumlegt; darauf folgt ein dritter, ein vierter Mantel, und es lässt sich somit eine *konische Schichtung* durch die ganze Masse hin verfolgen. Die Böschungswinkel, welche die einzelnen Schichtfolgen mit der Horizontalebene einschliessen, werden unter diesen Umständen immer kleiner und kleiner ausfallen; es wird sich das im *Schema* durch *Fig. 46* dargestellte Verhältnis offenbaren. Wir denken uns eine Vertikalebene gelegt, welche den Vulkankegel symmetrisch schneidet; als Grenzlinie ergibt sich diejenige Kurve, welche zur Linken den gebrochenen Linienzug $a_1 b_1 c_1 d_1 e_1$, zur Rechten den gebrochenen Linienzug $a_2 b_2 c_2 d_2 e_2$ *einhüllt*. Die einzelnen Strecken dieser Linienzüge haben, gehörig verlängert, mit der Horizontalen die Punkte a_1, b_1', c_1', d_1', e_1', e_2', d_2', c_2', b_2', a_2 gemein, und diese sind die Scheitel der zu je zweien ungefähr gleichen Neigungswinkel α, β, γ, δ, ε der konischen Schichten. Alsdann ist $\alpha < \beta < \gamma < \delta < \varepsilon$.

Milne, der an zahlreichen japanischen Vulkanen Messungen

soll durch einen Blitzschlag, derjenige von Zwickau-Planitz, von dem schon *Agricola* zu erzählen weiss, und dessen gänzliches Erlöschen erst vor wenigen Jahren konstatiert werden konnte, soll durch einen unvorsichtig abgegebenen Schuss veranlasst worden sein. Auch in Zentralasien finden sich, wie schon der Araber *Massudi* bemerkt haben soll, Oertlichkeiten, welche sehr zur Selbstentzündung neigen, und denen gegenüber man grosse Vorsicht anzuwenden hat, um sie nicht mit wirklichen Vulkanen zu verwechseln.

der Profillinie vorgenommen hat, hält sich überzeugt, dass letztere mit derjenigen der *rückwirkenden Festigkeit* für dasjenige Gestein, welches den Hauptbestandteil des Berges bildet, übereinstimmt. Wenn irgend ein Punkt der Kurve durch seine rechtwinkligen

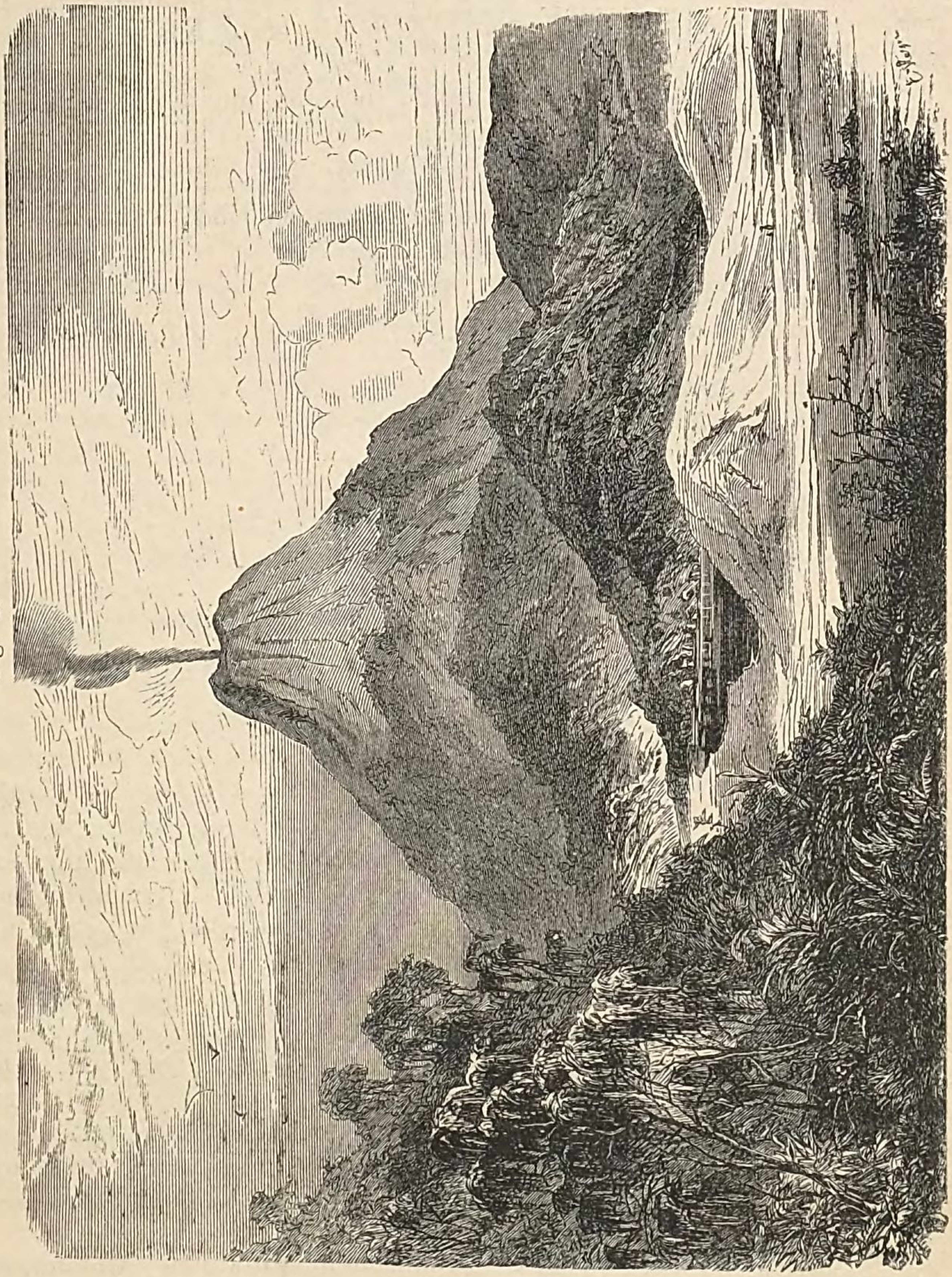


Fig. 47.

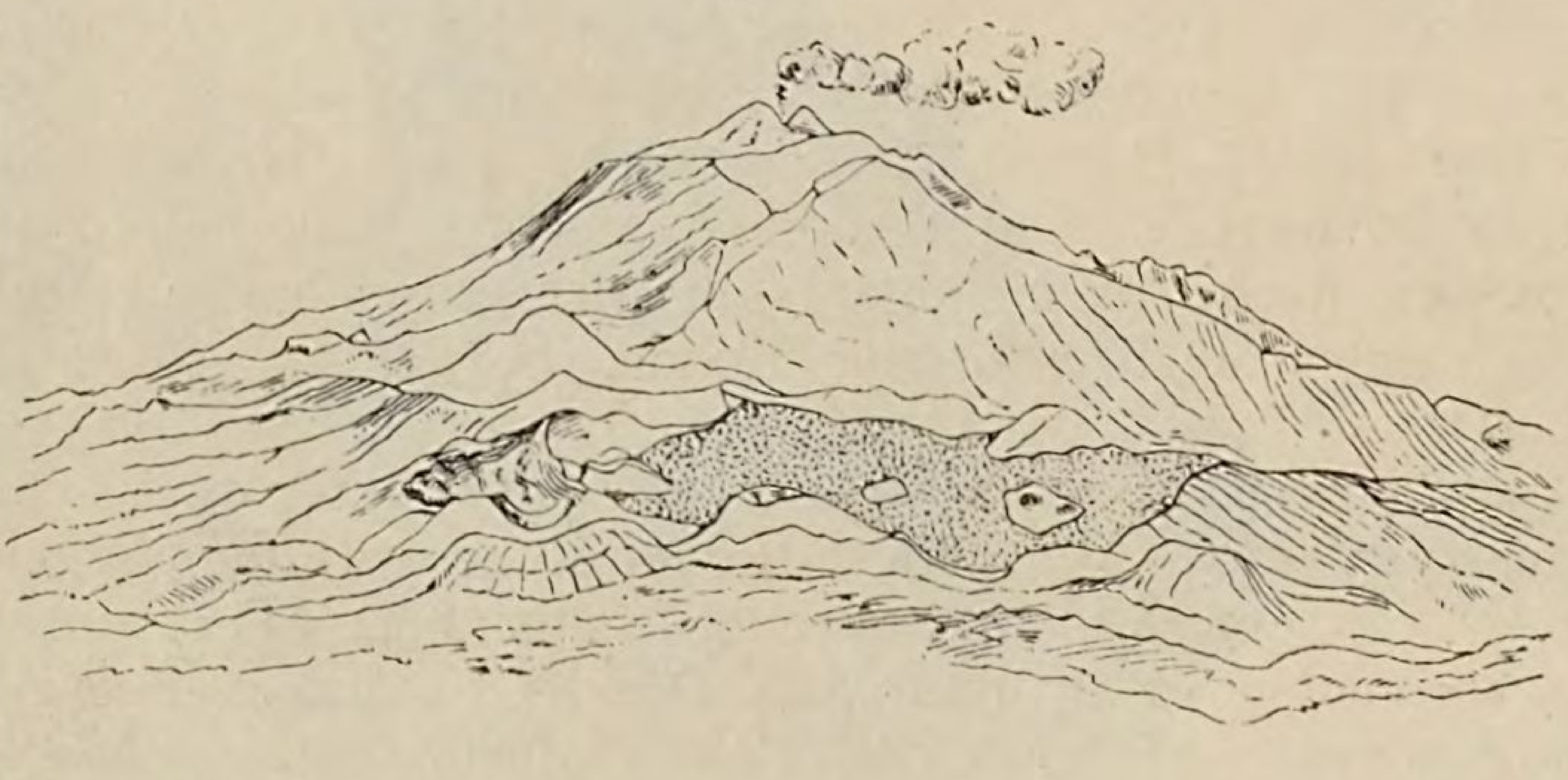
Koordinaten x und y ausgedrückt ist — für den Gipfel wäre $x = o$, y gleich der absoluten Berghöhe —, wenn ferner c eine von der Natur des betreffenden Gesteines abhängige konstante Grösse bedeutet, so wäre jenem Gesetze zufolge

$$y = \frac{c}{2}\left(e^{\frac{x}{c}} - e^{-\frac{x}{c}}\right) = c \sin \text{hyp} \frac{x}{c}.$$

Berge, welche in ihren Umrissen dieses Gesetz möglichst bestimmt hervortreten lassen, sind z. B. der *Mount Egmont* auf Neuseeland und der in *Fig. 47* abgebildete *Smeru* auf Java, während der *Fuji-no-yama* oder *Fuji-san* auf Nipon mehr an die reine Kegelform erinnert [1]). Auch der rezente Aschenkegel des Vesuv zeichnet sich durch seine exakt-geometrische Gestalt aus, während beim *Aetna* (*Fig. 48*) Umstände, denen wir gleich nachher unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden haben werden, eine nicht ganz unerhebliche Deformation bedingt haben.

Jene symmetrische Anordnung der Materie um den achsialen Schlot herum, von der wir vorhin ausgegangen sind, kann nämlich auch namhafte Modifikationen erleiden, und hierauf treten neben den uns schon bekannten *einen Krater*, der in *Fig. 46* dem Punkte *f* ent-

Fig. 48.



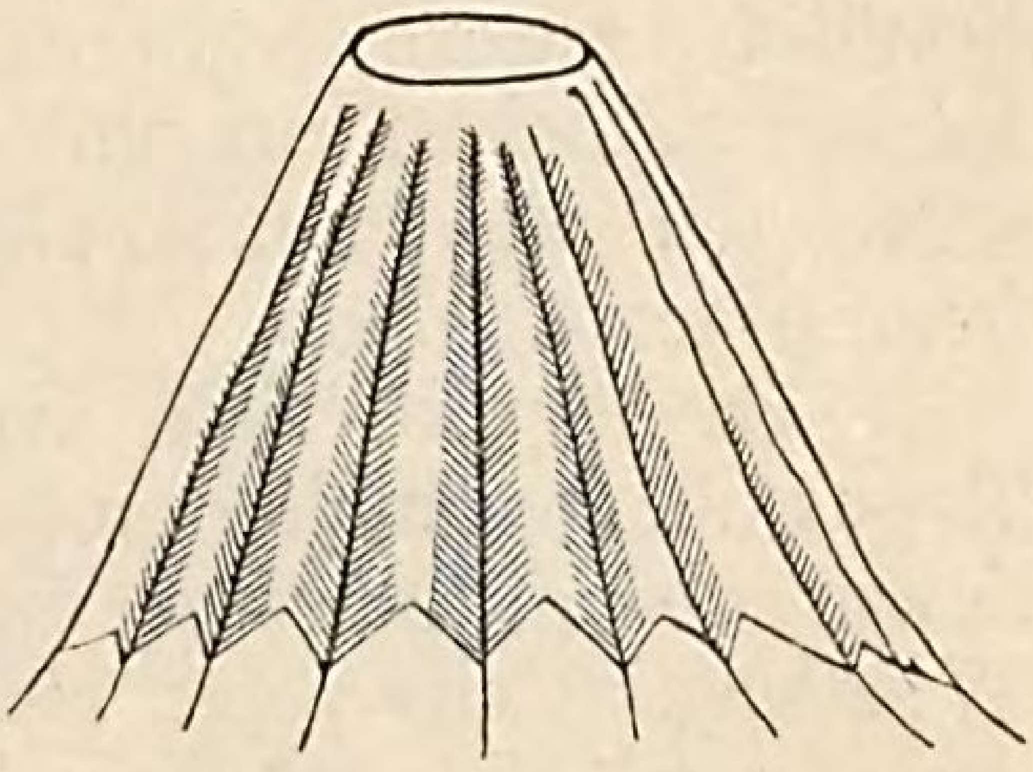
sprechen würde, und der in *Fig. 47* durch die vertikal ihm entströmende Rauchsäule signalisiert wird, *parasitäre Krater* in grösserer oder geringerer Menge. Es braucht nur der Mantel, welcher den Leitungskanal umgibt, an verschiedenen Stellen von ungleicher Widerstandsfähigkeit zu sein; wenn dies der Fall, so bewirkt der *Seitendruck* der aufsteigenden magmatischen Materie, dass letztere sich den Durchweg nach einem an den Flanken des Berges befindlichen Punkte erzwingt. Der einzige Aetna soll über siebenhundert solcher Kraterparasiten besitzen, und man ist, wenn sich ein neuer Ausbruch vorbereitet, von vornherein keineswegs gewiss, ob das unterirdische Feuer eine der bereits vorhandenen Ausfallpforten benützen oder sich eine neue zum Schrecken der Umwohner brechen wird [2]).

[1]) Dieser mit Schnee bedeckte, von einem sehr grossen Teile der Insel sowie vom angrenzenden Meere aus sichtbare Vulkan kann, wie *E. Naumann* berichtet, als das Wahrzeichen Japans betrachtet werden und kehrt auf allen den bildlichen Darstellungen wieder, welche dort in reicher Auswahl zur Anfertigung gelangen.

[2]) Die Entstehung von Nebenkegeln verursacht auch eine Verbreiterung des Berges selbst nach der Seite hin, welche diese Neubildungen am meisten begünstigt. Es kann jedoch auch vorkommen, dass inmitten eines vulkanischen Bezirkes neue Eruptionskegel aufgeworfen werden, welche man nicht mehr als

Auch die am regelmässigsten gebildeten Vulkankegel pflegen keine *glatte*, sondern vielmehr eine *kannelierte* Mantelfläche zu besitzen. Sowohl die Lavaströme als auch die Wasserfluten, welche, wie wir gleich nachher sehen werden, die Ausbrüche begleiten, graben Längsrinnen in die Flanken der Feuerberge ein, welche von den spanischen Amerikanern *Barrancas* genannt werden [1]). Oftmals sind dies gewöhnliche Wasserrisse, nach Art der *Fig. 49*; manchmal aber bilden sich auf diese Weise auch tiefe *Erosionsthäler* mit üppiger Vegetation und von landschaftlicher Schönheit, wie z. B. beim *Iztaccihuatl* in Mexiko. Die Erosion kann natürlich die Wandung des Kraters auch vollständig zerstören, und es bleibt vom Kraterwalle nur ein *unvollständiger Mauerring* übrig (*Somma* des Vesuv, *Caldéra* auf der Kanarieninsel Palma). Aber auch blosse Krater ohne zugehörigen Feuerberg sind denkbar: niedere Ringgebirge, welche nach aussen flach, nach innen steil sich absenken. Dergleichen Gebilde werden auch auf dem Monde (S. 19) in grosser Anzahl beobachtet.

Fig. 49.



Den Kratervulkanen stehen, wie erwähnt, die homogenen Vulkane zur Seite. Mit majestätischer Ruhe tritt die magmatische Masse — vgl. den Melaphyrdurchbruch in *Fig. 13* — durch eine bereits vorhandene oder unter dem Drucke von unten erst gebildete Oeffnung hervor und breitet sich glockenförmig aus. *Basalt, Trachyt, Phonolith, Andesit* sind gewöhnlich die auf diese Weise als Vulkanbildner auftretenden Gesteine. Die uns von S. 71 her bekannten isolierten Kuppen Südschwabens (Phonolith), der Vogelsberg (Basalt), die Vulkane der Halbinsel Methana im Peloponnes (Trachyt), manche Domvulkane Mexikos (Andesit) können als Beleg dienen; sollte das vulkanische Gestein nicht unmittelbar anstehen, so muss der Geologe dessen Natur *durch Bildung einer Denudationsreihe* auf die Spur zu kommen trachten. Letzteres ist insbesondere dann notwendig, *wenn die Intrusivmasse es nicht bis zur Durchbrechung der auflagernden Schichten gebracht hat.* In diesem Falle ist an die Stelle des Domvulkans dasjenige getreten, was die amerikanischen Geologen als *Lakkolithen* [2]) bezeichnet haben. Unnatürliche blasenartige Auftreibung der — meist kretazischen — Sedimente verrät

parasitär bezeichnen darf, sondern welche etwa als selbständige Aufschüttungskegel zweiter Ordnung anzusehen wären. Die *Inselgruppe Santorin* kann als ein Mustertypus für dieses Verhältnis gelten; die Inseln Thera, Therasia und Aspronisi repräsentieren eine vielfach zerrissene, von Meeresstrassen durchfurchte Vulkanruine, und aus dem von dieser umschlossenen Wasserbecken ragen Paläa-, Nea- und Mikra-Kaimeni als neue Vulkaninseln hervor.

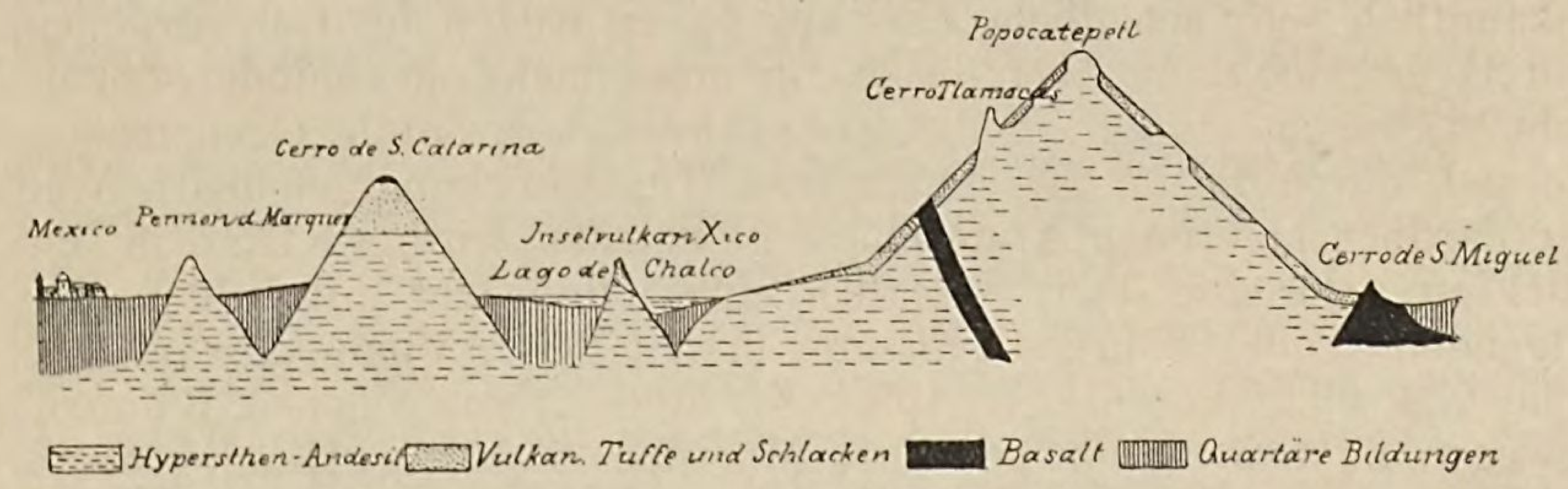
[1]) So und nicht „Barrancos" lautet der spanische Ausdruck.

[2]) Λάκκος, Grube; λίθος, Stein.

die Anwesenheit eines solchen Lakkolithen, der natürlich dann, wenn etwa die Denudation die ihn verhüllenden Schichtgesteine beseitigt haben sollte, einfach als ein homogener Vulkan erscheint. Beim *„Hillers-Lakkolith“* hat der Auftrieb der flüssigen Massen Schichten von früher horizontaler Lagerung so stark aufgerichtet, dass sie jetzt unter Winkeln von 45° bis 80° einfallen. Diese Darlegung bestätigt unsere frühere Aussage (S. 123), dass allerdings auch solche Schichtstörungen vorkommen können, welche nicht, zum wenigsten nicht unmittelbar, durch das Schwinden des Erdkörpers bedingt erscheinen.

Es begreift sich, dass es auch mannigfache Uebergänge vom Typus der geschichteten zu dem der homogenen Vulkane gibt. Deutlicher als durch eine besondere Erörterung mag dies durch die Wiedergabe eines der mexikanischen Hauptvulkanprofile nach *Felix* und *Lenk* (*Fig. 50*) bewahrheitet werden. Beim Popocatepetl, der übrigens einen eigentlichen Krater und einen parasitären Basaltdurchbruch aufweist, bilden die Tuffmassen nur einen sehr dünnen

Fig. 50.



Mantel, während der Peñon del Marquez sich ganz ausschliesslich aus Hypersthen-Andesit (S. 71) zusammensetst.

Uneigentliche Vulkane. Von den *Geysirs* oder intermittierenden Heisswasserbrunnen, deren Auftreten an ein vulkanisches Territorium gebunden ist, sehen wir an dieser Stelle noch ab, indem wir deren Natur und Theorie besser in dem von den Quellen überhaupt handelnden Abschnitte XIV unterbringen zu können hoffen. Gleichwohl bleiben uns noch vier besondere Erscheinungsformen übrig, welche hier zusammengefasst werden müssen.

a) *Fumarolen.* Das letzte Stadium des aktiv-vulkanischen Zustandes, ehe derselbe in völlige Passivität sich verwandelt, ist der sogenannte *Fumarolenzustand.* Das Vulkangebiet haucht in diesem Falle Wasserdämpfe von sehr grosser Reinheit aus. Italien hat von Fumarolen ganz besonders viele zu verzeichnen (Insel *Pantellaria*). Borsäure und schweflige Säure sind ab und zu Beigabe des ausgeatmeten Wasserdampfes. Man hat wohl auch *trockene, saure* und *alkalische* Fumarolen unterschieden; bei den ersteren ist

die Wasserdampfausscheidung eine so geringe, dass sie ohne schärferes Zusehen gar nicht wahrgenommen werden kann[1]).

b) *Solfataren* sind Oeffnungen, aus welchen hauptsächlich schweflige Säure und Schwefelwasserstoffgas aufsteigen; die Gesteine in der Nähe der Ausbruchstelle pflegen mit allen möglichen Sublimationsprodukten bedeckt zu sein. Island, Java, Neuseeland, die phlegräischen Gefilde bei Neapel sind reich an Solfataren, deren auch die Landenge von Korinth eine der merkwürdigsten (die von Kalamaki) besitzt. Spontane Aushauchungen von Schwefelwasserstoff kommen wohl auch an Orten vor, von welchen bis dahin kein Anzeichen verriet, dass sie sich im Solfatarenzustande befänden. So wurde Ende 1881 und Anfang 1882 der Golf von Patras nach *vom Rath* von je einem solchen Ereignisse betroffen, welches grosse Verheerungen unter den Tieren des Wassers anrichtete. Wenn endlich Kohlensäure an die Stelle der von anderen nur noch halb thätigen Vulkanen gelieferten Dämpfe oder Gase tritt, so hat man

c) *Mofetten* vor sich. Die altvulkanische Eifel ist überaus reich an solchen Gasquellen, von deren einer *Bischof* berechnet hat, dass sie im Tage gegen zwei Zentner Kohlensäure ergebe. Häufig tritt das für die Atmungsorgane der Menschen und höheren Tiere bekanntlich sehr schädliche Gas aus feinen Ritzen des Untergrundes und lagert sich dann über diesem in einer mehr oder minder dicken Schicht, welche durch eine ausgesprochene horizontale Grenzfläche, die sich durch die an ihr stattfindende Lichtbrechung offenbart, von der darüber lagernden Atmosphäre geschieden wird. Kleine in die Stickluft gebrachte Tiere verfallen einer Ohnmacht mit bald nachfolgendem Tode, während grössere, bis zu deren Munde das gefährliche Gas nicht heranreicht, ohne Nachteil sich in solchen Räumen bewegen können. Sehr bekannte Mofetten sind die „Hundegrotte“ bei Neapel, welche in einer ähnlichen Höhle nahe dem deutschen Badeorte Pyrmont ihr verkleinertes Abbild aufzuweisen hat, und das stark von Sagen umwobene „Todesthal“ (Guwo Upas) auf der Insel Java [2]).

d) *Schlammvulkane* oder *Salsen,* nach *v. Gümbel* treffender als *Schlammsprudel* zu bezeichnen. Wir haben schon darauf verwiesen, dass bei vielen dieser Pseudovulkane der Zusammenhang mit dem eigentlichen Vulkanismus ein sehr lockerer oder gar keiner ist.

[1]) Zu den Fumarolen gehörten die sonderbaren *Hornitos* oder *Oefen* — *Spratzkegel* nach *Reyers* treffender Verdeutschung —, welche *A. v. Humboldt* im mexikanischen Malpays am Jorullo angetroffen hat. Seitdem, d. h. im Verlaufe von nahezu einem Jahrhundert, hat die fortschreitende Denudation diese Dämpfe aushauchenden Hügelchen, wie *Felix* und *Lenk* sich überzeugten, vom Angesichte der Erde verschwinden lassen.

[2]) Exhalationen von Kohlenwasserstoff brauchen nicht mit Notwendigkeit auf vulkanische Kräfte hinzudeuten (Heiligtümer der Parsen in Baku; vgl. S. 76). Nicht vulkanischer Herkunft ist anscheinend nach den sehr eingehenden Untersuchungen von *Partsch* das bei vielen klassischen Autoren erwähnte heilige Feuer auf der Spitze des Berges Moschylos (Insel Limno) gewesen; diesem entströmte Kohlenwasserstoffgas, das sich gelegentlich bei Annäherung von brennenden Stoffen entzündet haben mag.

Quellen von oft sehr bedeutender Ergiebigkeit bringen schlammige Massen ans Tageslicht, wobei jedoch auch eine stellenweise namhafte, meist intermittierende Gasentwicklung als Begleiterscheinung auftreten kann, die es auch zu wirklichen Explosionen bringt. In manchen Fällen mag, um mit dem vorstehend genannten Geologen zu sprechen, vulkanische Aktion das Ihrige dazu beigetragen haben, dass die Entstehungsbedingungen der Eruptionsgase von einer tieferen nach einer höheren Stelle der Erdkruste verlegt wurden, und in diesem indirekten Sinne hat also die Benennung Schlammvulkane eine gewisse Berechtigung; an und für sich sind chemische Selbstentmischungs-Vorgänge das eigentliche Agens, und der Prozess selbst, als dessen letzte Konsequenz wir das Aufsprudeln des Schlammes wahrnehmen, gleicht vielleicht sehr demjenigen, welcher dem Petroleum (S. 76) das Dasein gibt. Manche der uns bekannten Salsen liegen auf vulkanischem Gebiete oder sind doch von alten Feuerbergen nicht sehr weit entfernt, so z. B. diejenigen im Modenesischen, auf den Sunda- und Antilleninseln, die mit siedendem Wasser vergesellschafteten, von allen bekannten den vulkanischen Charakter am reinsten zur Schau tragenden Schlammejektionen am Krabla (Island), der siebenbürgische „Höllenmorast“ und vor allem die bereits von dem römischen Kosmographen *Solinus* beschriebenen „*Makkalubas*“ bei Girgenti (Sizilien). Ganz und gar mangelt dagegen der vulkanische Hintergrund den Schlammsprudeln auf der Halbinsel Taman (zwischen Schwarzem und Asowschem Meere), mit denen sich *Pallas*, *Gurief* und *Moritz Wagner* auf Grund von Autopsie beschäftigt haben. Bei diesen dem Meere nahe benachbarten Schlammvulkanen scheinen unsichtbare Kanäle die Verbindung der Eruptionsstelle mit dem Wasser herzustellen, welches in den ganz lokalen, durch rein chemische Prozesse gebildeten Glutherd einströmt und daselbst kleine, sich stets folgende Explosionen verursacht[1]).

Eruptionsakt und Eruptionsstoffe. Die Entstehung eines homogenen Vulkanes hat Menschenauge nur ganz selten beobachtet[2]);

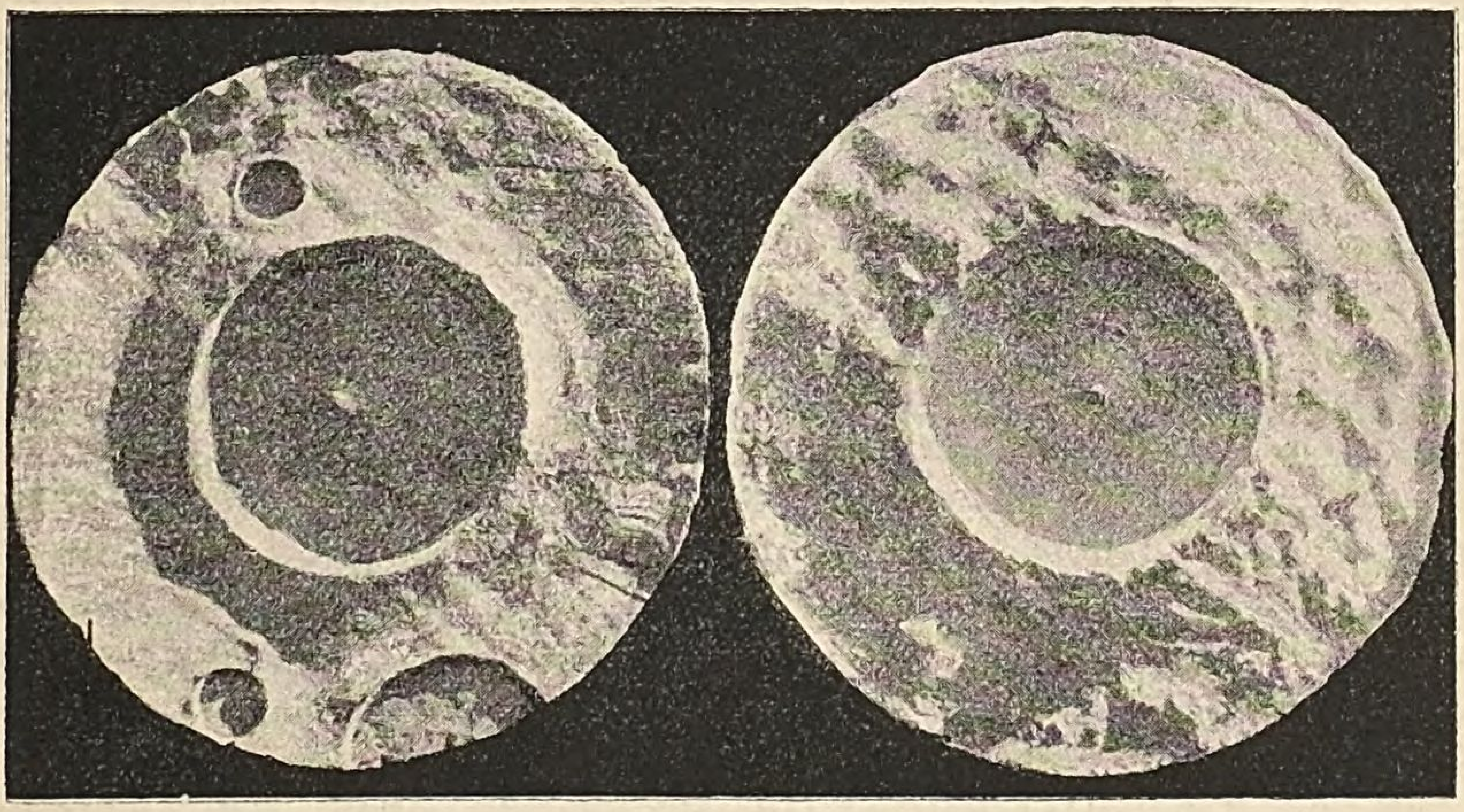
[1]) Die flache Kesselform, welche zumal bei den sizilianischen Schlammvulkanen die Regel bildet, hat *Ebert* in sehr bemerkenswerter Weise durch das Experiment nachzubilden gelehrt. Eine Platte von willkürlicher — durchaus nicht notwendig runder — Gestalt von flacher Oeffnung wurde mit der *Wood*schen Metallegierung, die bekanntlich sehr leicht schmelzbar ist, in flüssigem Zustande gefüllt. Durch eine Zuleitungsröhre, die zentral in die Mulde mündete, wurde diese, nachdem die peripherischen Teile der Füllung erstarrt und nur in der Mitte flüssige Massen zurückgekehrt waren, mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt, und mittelst dieser liess sich eine Art Ebbe und Flut der Flüssigkeit erzeugen. Dabei lief ein Teil dieser letzteren aus, und der entstandene Hohlraum bot, nachdem die Erstarrung vollendet war, völlig das Aussehen jener Makkaluben. *Ebert* weist auch darauf hin, dass viele der Mondvulkane die nämliche morphologische Deutung zulassen, und erläutert seine Behauptung durch die schöne Vergleichung zwischen einem auf seine Art hergestellten Erstarrungskrater und dem bekannten lunaren Ringgebirge Herschel (*Fig. 51 und 52*).

[2]) Die Bildung der argolischen Trachythügel schildern allerdings *Ovids* „Metamorphosen“ mit solcher Lebenswahrheit, dass man sich versucht fühlen

man ist deshalb auch nur teilweise imstande, von den näheren Umständen eines solches Ereignisses sich eine Vorstellung zu machen. Um so besser sind wir, da es an thätigen Feuerbergen nicht fehlt, von der gewöhnlichen vulkanischen Eruption und ihren mannigfachen Begleitumständen unterrichtet.

In der nächsten Nähe eines thätigen Vulkanes ist absolute Ruhe etwas Seltenes; seitdem feine Erdbebenmesser (s. u.) und das

Fig. 51. Fig. 52.



Mikrophon [1]) zur Prognose verwendet werden, kann man mit einiger Sicherheit an den verstärkten Bodenschwingungen erkennen, dass sich im Schosse der Erde eine Aktion vorbereitet. Auch das Versiegen von Quellen, das Trübwerden von Brunnen und ähnliche Erscheinungen gehören unter die einigermassen zuverlässigen Vorzeichen eines Ausbruches, und bei mit Schnee bedeckten Vulkankegeln hat man zum öfteren unmittelbar zuvor ein Abschmelzen der Schneedecke bemerkt. Irgendwelche durch die meteorologischen Instrumente nachzuweisenden Veränderungen im Zustande der Atmosphäre sind dagegen, obgleich an dahin zielenden Gelegenheitsaussagen kein Mangel ist, noch niemals mit einiger Sicherheit wahrgenommen worden. Den Eruptionsakt pflegt ein energischer Erdstoss einzuleiten; alsdann erscheinen Rauch- und Dampfwirbel über der

möchte, zu glauben, es hätten wirklich Menschen die Eruption, die ja auch als eine geologisch sehr rezente anzuerkennen ist, mit angesehen, und die bezügliche Ueberlieferung sei vom Dichter verwertet worden. In der That will man das Jahr 375 v. Chr. als das Entstehungsjahr des Vulkanes ansprechen.

[1]) Auf seinem bekannten Observatorium zu Rocca di Papa im Albanergebirge hatte *De Rossi* eine aus Mikro- und Telephon kombinierte Auffangvorrichtung angebracht, mittelst deren er die subterranen Bewegungen in dem doch ziemlich weit entfernten neapolitanischen Vulkandistrikte kontrollieren zu können sicher zu sein glaubte.

Mündung des Schlotes, Asche und Steingerölle wird in die Höhe geschleudert, und die glühende *Lava* beginnt, nachdem sie zuvor schon, um einen Ausspruch *Palmieris* zu wiederholen, aus allen Poren des Vulkankegels *ausgeschwitzt* ist, in einem majestätischen Strome aus dem Krater auszutreten und an den Gehängen des Berges herabzufliessen, wofern sie sich nicht, was freilich häufig geschieht, einen seitlichen Austritt und damit vielfach einen parasitären Krater (S. 138) geschaffen hat. Die Struktur der Bergfläche, die Barrancas, bereits erstarrte Lavaströme und andere örtliche Verhältnisse bedingen es, dass die glutflüssige Masse gewöhnlich gewisse, den Bewohnern der Gegend von vornherein bekannte Wege einschlägt; eben darum geht mit einem unerwarteten Durchbruche der Lava grosses Unglück Hand in Hand, weil alsdann Ansiedlungen und Pflanzungen verwüstet werden, welche man durch ihre Lage geborgen wähnte.

Eine ungeheure, fächerartig nach oben sich ausbreitende Rauchsäule, ihrer Form wegen auch als *Pinie* bezeichnet, erhebt sich aus dem Mundrohre bis zu oft beträchtlicher Höhe, angeblich bis zu 5000 m (Hekla-Ausbruch vom Jahre 1783). Wasserdämpfe gemischt mit kleinen Festkörpern (Verbrennungsprodukten) wiegen in der Pinie vor, doch treten auch Wasserstoff, Kohlensäure und andere Gase darin auf. In grösseren Höhen, wo eine schon namhafte Kälte herrscht, tritt eine rasche Kondensation des emporgeführten Wasserdampfes auf, und damit stehen die heftigen *Vulkangewitter* in Zusammenhang, welche, wenigstens in manchen vulkanischen Gebieten, von einer Eruption so gut wie unzertrennlich sind, und von deren Wüten eben die Barrancas (S. 139) ein sprechendes Zeugnis ablegen [1]). In der Dampfsäule finden auch elektrische Entladungen statt, welche sich in wirklichen Blitzen äussern und in der fortwährenden Reibung der Dampfpartikeln mit den fortgerissenen kleinen Gesteinstrümmern ihren Grund haben dürften. Diese feinen Fragmente werden oft in weite Fernen fortgeführt.

Hiefür besass man bereits von älteren Katastrophen her manch triftigen Beleg, aber weitaus übertroffen wurde alles früher Erlebte durch den *Vulkanausbruch von Krakatau zu Ende August 1883.* Die Insel Krakatau, in der Sunda-Strasse zwischen den grossen Inseln Sumátra und Java gelegen, wurde damals durch einige wenige Ausbrüche von kaum jemals beobachteter Zerstörungskraft grossenteils in die Luft geblasen; der von der holländischen Regierung zur Untersuchung entsendete Experte *Verbeek* berechnete das Volumen der Auswurfsmassen auf 18 Kubikkilometer. Nur ein kleiner Teil derselben fiel auf die Eruptionsstätte zurück, derselben eine ganz andere Gestalt erteilend; der weitaus überwiegende Teil ward durch den ungeheuren Stoss in sehr hohe Luftschichten emporge-

[1]) Wie das von *Humboldt* bezeugte massenhafte Auftreten kleiner Fische beim Ausbruche des Cotopaxi darthut, können die vom Gewitter gelieferten Gewässer auch durch solche verstärkt werden, welche aus unterirdischen, durch die Gewalt des Stosses eröffneten Wasserbehältern stammen.

tragen und bewirkte dortselbst gewisse Veränderungen des Normalzustandes, welche uns später (in Abschnitt X) Stoff zu weiteren, für die Physik der Atmosphäre wichtigen Erörterungen bieten werden [1].

Mit der ersten grossen Eruption hat in der Mehrzahl der Fälle die vulkanische Aktion ihre Stärke erschöpft; es folgen zwar meistenteils noch einige Stösse nach, aber dieselben reichen nur mehr hin, Dampfballen emporzutreiben und unterirdisches Getöse hervorzurufen. Der bisher thätige Feuerberg sinkt in einen Zustand fast völliger Ruhe zurück; nur gelegentliches Grollen in seinem Innern (*Bramidos*), Solfataren und Fumarolen geben Kunde davon, dass jene Ruhe nur eine vorübergehende ist. Die Perioden, während deren die vulkanische Kraft schlummert, können von der verschiedensten Dauer sein. Mancher kleine Vulkan hat alle Woche seine Eruption; beim Vesuv dagegen war diejenige des Jahres 79 n. Chr. die erste geschichtlich bekannte [2], während der Vulkan auf Krakatau volle zweihundert Jahre lang, 1680 bis 1880, vollkommene Ruhe bewahrt hatte. Der Aetna bereitet seinen Nachbarn etwa alle 10 bis 12 Jahre das von ihnen, zumal von der Stadt Catania, sehr gefürchtete Schauspiel eines Ausbruches [3].

Neben diesen durch jähe, *akute* Kraftäusserungen ausgezeichneten Vulkanen gibt es auch solche, deren Eruptivzustand ein *chronischer* ist. In diese Kategorie stellt sich vor allem der *Stromboli-Vulkan* (Liparische Inseln), der schon den phönikischen Schiffern wegen der ihn Tag und Nacht überlagernden glänzenden Wolke als Landmarke diente und seit dieser Zeit niemals, auch nur vorübergehend, aus seiner Rolle gefallen zu sein scheint. Alle Viertelstunden stösst er Asche und Dampf in geringen Mengen aus, aber dafür sind seine Zuckungen, die man nicht mit Unrecht mit *Pulsschlägen* verglichen hat, durchaus ungefährlich und ohne grosse mechanische Intensität [4]. Es gibt auch Territorien, innerhalb deren akute und chronische Zustände miteinander abwechseln. Von 1707 bis 1866 verriet z. B. die Insel Santorin nur dadurch ihren wahren Charakter, dass dem Meere in ihrer Nähe unausgesetzt schwefelsaure Dämpfe entströmten, aber mit dem 27. Januar 1866 kündigte sich, zunächst durch lebhaftere Wellenbewegung, eine grossartige

[1]) Im Verhältnis war übrigens die zerstäubte Krakataumasse gar nicht so ungeheuer, vielmehr sind bei gewissen Eruptionen des *Coseguina* in Zentralamerika und des *Temboro* auf Sumbawa weit grössere Substanzverluste konstatiert worden.

[2]) Bekanntlich hatte *Spartacus* im Sklavenkriege den Vesuvgipfel zu seinem Hauptquartiere gemacht, doch wohl ohne Kenntnis von dessen wahrer Natur.

[3]) Man hat die Periodizität der vulkanischen Bewegungen mit angeblichen Gezeiten des fluktuierenden Erdinneren in Beziehung setzen wollen (*Perrey*, *Falb*). Dagegen spricht jedoch schon genugsam der Umstand, dass fast jeder Vulkan ein anderes Verhalten bethätigt.

[4]) Nach *Pennesi* ist der zentralamerikanische Vulkan *Isalco*, „der Leuchtturm von San Salvador“, eine Art Seitenstück zu jenem alten Pharus des Tyrrhenischen Meeres.

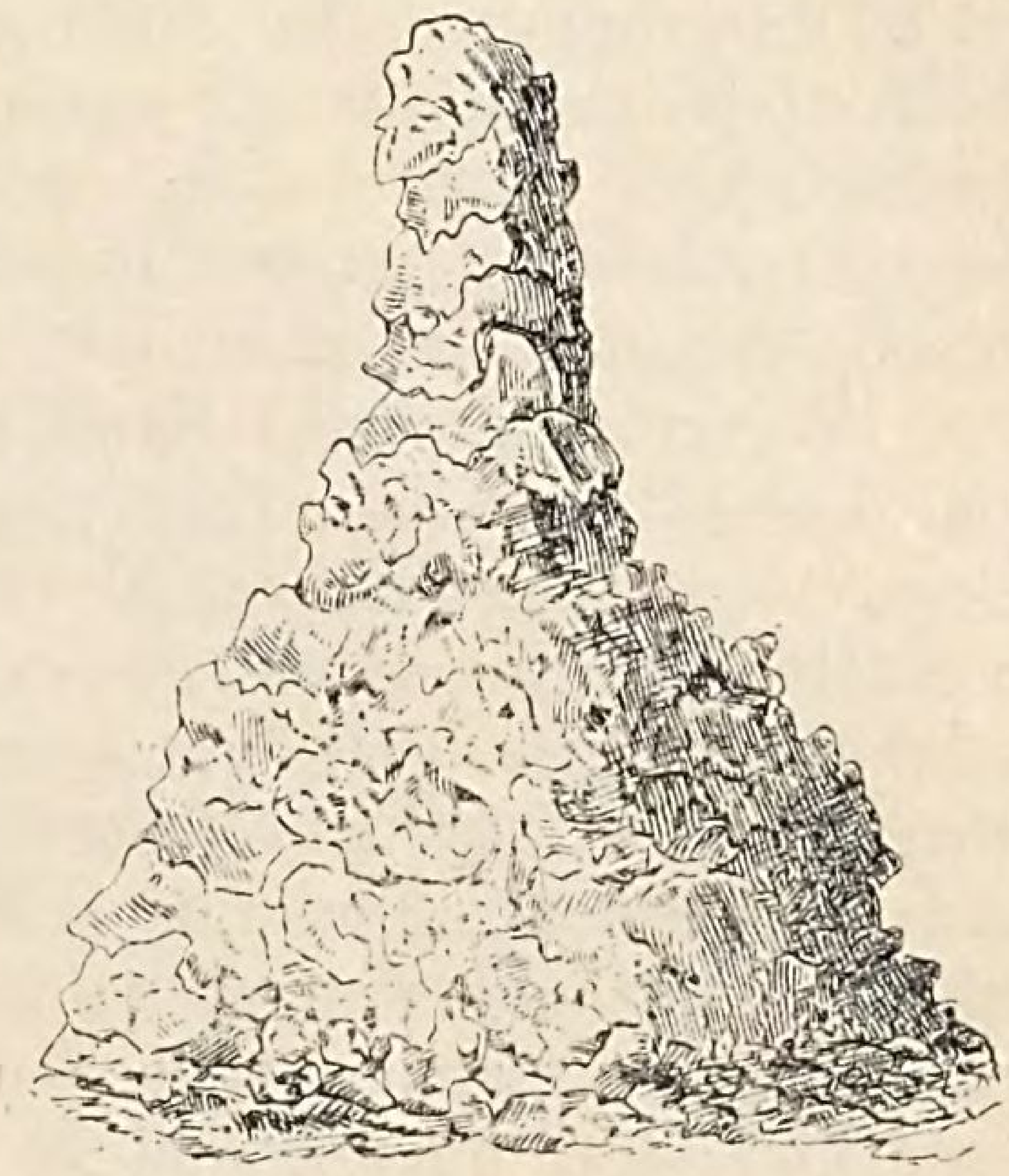
Eruptivperiode an, und diese erreichte erst 1870 wieder ihr einstweiliges Ende. —

Wir werfen nunmehr einen Blick auf die Stoffe, welche beim Eruptionsakte aus dem Inneren der Erde an deren Oberfläche befördert werden. Zunächst fesselt uns natürlich die ihrem Wesen nach mit der von uns früher als Magma bezeichneten Materie identische, durch die Wegnahme des auf diesem lastenden Druckes jedoch immerhin ihrem Wesen nach veränderte *Lava,* über deren Beschaffenheit die Arbeiten eines *Reyer, Lagorio, Rosenbusch, v. Fritsch,* um nur ein paar Namen zu nennen, manches neue Licht verbreitet haben.

Die Lava ist nach *Reyer* als eine krystallinische, von Lösungen durchtränkte Masse anzusehen; ähnlich definiert *Lagorio* das im Schmelzflusse befindliche Gesteinsmagma als *mehr oder weniger gesättigte Lösung verschiedener kieselsäurehaltiger Mineralien.* Aus dem Magma heraus krystallisieren stets so ziemlich die nämlichen Mineralien, wie auch des ersteren Kieselsäuregehalt sein mag. Die Formel für die eigentliche Basis soll $R_2O \,.\, 2\,SiO_2$ sein, wobei das Radikal R entweder durch K oder durch Na vertreten sein kann. *Lagorio* und *Rosenbusch* interpretieren die Gesetze der *Ausscheidungsfolge,* welche das relative Alter der Mineralien in den Eruptivgesteinen bestimmt, ganz verschieden, aber darin kommen sie überein, dass ein Stoff sich um so schwerer und später ausscheidet, je löslicher er ist, und dass im Erstarren des als Lava ausströmenden Magmas zwei Perioden sich unterscheiden lassen: die *intratellurische* und die *effusive Periode.* Vielleicht ist die körnige Struktur der zweifellos auch ursprünglich magmatischen Gebirgsarten — Granit, Syenit, Diorit, Gabbro — dadurch bedingt, dass die Bildung eines jeden Gemengteiles in einem einzigen Zeitabschnitte vor sich ging, wogegen die Gemengteile der Ergussgesteine sich in zwei zeitlich getrennten Zeiträumen aus dem Magma abgeschieden und sich so zu der eigenartigen porphyrischen Beschaffenheit der betreffenden Gesteine zusammengefunden hätten. Die zahlreich absorbierten Gase versetzen die Lava in einen ganz besonderen, sonst bei keinem Körper zu beobachtenden Zustand einer *bedingten Explosionsfähigkeit*, wie er im Miniaturbilde den kohlensauren Mineralwässern eignet. Es gibt allerdings auch Laven, die gar keine Gase oder doch nur geringe Mengen von solchen in sich aufgenommen haben, und da vollzieht sich dann der Ausfluss ruhig, ohne besondere Wallungen; in der Regel aber ist der Ausfluss von beständigem Zischen und *Spratzen,* dem Freiwerden bisher festgehaltener Gase, begleitet. Wenn die Lava in glasigem Flusse erstarrt, bilden sich allerorts in ihr sogenannte *Schlieren* von ovaler Gestalt, und die Längsachse eines jeden derartigen Ellipsoides stimmt mit der Strömungsrichtung der Lava überein. Dem äusserlichen Befunde nach unterscheidet man *poröse, dichte* und (in engerem Sinne) *glasige Lava.* Gewöhnlich bildet dieselbe Decken und Mäntel über dem von ihr überfluteten Gelände, und unter der erstarrten Kruste, welche einen schlechten Wärmeleiter darstellt, bleibt ein hoher Hitzegrad oft

Jahrzehnte lang erhalten. Weit seltener gerinnt die Lava zu Hügeln von abenteuerlicher Gestalt zusammen, wie uns *Poulett-Scrope* und *Dana* solche (vgl. *Fig. 53*) nach Vorkommnissen auf den Sandwichs-Inseln (aber auch am Vesuv) vorgeführt haben.

Fig. 53.



Der Lava nächst verwandt sind *Obsidian* und *Bimsstein*. Mit ersterem Worte kennzeichnet die Mineralogie überhaupt wasserstoffarme, glänzende Gläser; *Plinius* erzählt, dass man den „*lapis opsianus*“ aus Aethiopien geholt und zu Schmuckgegenständen [1]) verarbeitet habe. Der an Naturmerkwürdigkeiten so reiche amerikanische „Nationalpark“ am Yellowstone-River besitzt, *Hirschbergs* Reiseberichten zufolge, einen kompakten Obsidianhügel, wie ihn die Erde sonst nirgendwo aufzuweisen hat. Obsidian sondert sich, gleich dem Bimsstein, der nur eine blasige, schaumige Varietät des vorigen ist, meist aus trachytischer, ganz selten auch aus basaltischer Lava ab.

Die Wandungen des Vulkanschlotes und des Kraters sind mit Steinen ausgekleidet, von denen grössere oder geringere Bruchstücke durch die Gewalt des Ausbruches losgerissen und aus dem Rohre herausgeschleudert werden. Man spricht dann von *vulkanischen Bomben* oder *Lapilli* (*Rapilli*). Ihnen gesellen sich kleine, von der Explosion abgelöste Lavamengen zu, welche im Herabfallen erstarren und durch den Luftwiderstand in ganz abenteuerliche Formen gebracht werden (*Lavathränen*). Die Lapilli, untermischt mit Bimssteinmassen und Asche der verschiedensten Art, repräsentieren hie und da ein nicht zu unterschätzendes *gestaltbildendes Element* für die Erdoberfläche [2]).

Die vulkanischen Schlacken werden durch das vielfältige Aneinanderschlagen während der Ejektion grossenteils ganz zerrieben. So bilden sich die *vulkanischen Sande*, in denen das Mikroskop fast ausschliesslich Feldspat- und Augitkryställchen nachweist. Durch Farbe und Gewicht unterscheidet sich von ihnen die *vulkanische Asche*, die wohl zum teile auch ein *Zerreibungs-*, zum teile gewiss aber auch ein unmittelbares *Zerstäubungsprodukt* [3]) ist und dann eine

[1]) *Plinius*, Hist. nat., lib. XXXVI, cap. 196. — Die alten Azteken bedienten sich des in Mexiko häufigen, überaus harten Minerales zur Waffenfabrikation, weil ihnen das Eisen vollständig unbekannt war.

[2]) *B. Hagen* wenigstens teilt mit, dass im Gebirge der Residentschaft Deli auf Sumátra viele und oft tiefe Thäler, einerlei ob geotektonischen oder erosiven Ursprunges, durch vulkanische Auswürflinge förmlich planiert worden seien.

[3]) Dass der ganze Vorgang, welcher Lapilli, Sand und Asche bildet und in Bewegung setzt, im wesentlichen das gleiche ist, was man im kleinen beim

hinlängliche Feinheit erhält, um in die kleinsten Hohlräume einzudringen, diese auszufüllen und, nachdem sie im Laufe der Zeit die Konsistenz eines homogenen Festkörpers angenommen hat, einen förmlichen *Steinkern* nach Art der sogenannten Versteinerungen (S. 81) zu liefern. In der von der Vesuvasche verschütteten Stadt Pompeji haben sich so, wenn dieser Steinkern ausgebrochen war, merkwürdige *Negativbilder* oder *Hohlformen* einer ganzen Reihe von Gegenständen erhalten, und diese selbst konnten durch Ausguss wiederhergestellt werden.

Wenn Asche und Sand entweder sofort ins Wasser fiel oder von diesem zu einer Zeit zugedeckt wurde, da der Zustand der feinen Verteilung noch keine wesentliche Aenderung erfahren hatte, so entstanden die verschiedenen *Tuffe*, vulkanische Emissionsprodukte, welche teilweise eine gewisse Schichtung aufweisen und Fossilien führen. *Gemeiner Tuff*, *Posilipptuff*, *Peperin*, *Trass* und *Palagonit* sind Spezialbezeichnungen des Tuffes, welche sich einerseits nach dessen verschiedener vulkanischer Abstammung und andererseits nach gewissen petrographischen Merkmalen richten, die für verschiedene Tuffarten auch ziemlich weit voneinander abweichen können.

Anordnung und geographische Verbreitung der Vulkane. Man hat viele Mühe darauf gewendet, in der geographischen Lage der isolierten und der in Gruppen auftretenden Vulkane *Gesetzmässigkeiten* herauszufinden, doch ist man nur zu wenigen wirklich sicher stehenden Thatsachen gelangt. Mit einigem Rechte darf man auch jetzt noch an der Einteilung *L. v. Buch*s — *Zentralvulkane* und *Reihenvulkane* — festhalten. Ersteren sind die liparischen und isländischen Vulkane, sind die Azoren, Kanarien und Kapverden, ist namentlich auch der Aetna beizuzählen; Vulkanreihen dagegen finden wir in Chile, bei Quito, auf den Antillen, auf den Sundainseln. Man darf wohl annehmen, dass jede solche Reihe einer *Vulkanspalte* der Erdrinde oder doch einem wesentlich nach einer bestimmten Dimension ausgedehnten Stücke der letzteren entspreche, innerhalb dessen besonders günstige Bedingungen für die Bildung explosiver Zustände zu finden sind. Die *guirlandenförmige Anordnung* vulkanischer Inseln, mit der sich *Peschel* eingehend beschäftigte, kann wohl auch nicht ganz in Abrede gezogen werden; so ist z. B. durch die Kurilen zwischen den Reihenvulkanen Japans und Kamtschatkas eine ganz naturgemässe Verbindung hergestellt.

Mehr und mehr sah man dagegen in den letzten Jahren mit der aus dem Altertum — *Trogus Pompejus* — bis zur neuesten Zeit bewahrten These zu brechen sich genötigt, *dass Vulkane aus-*

Aufschäumen einer Flüssigkeit wahrnehmen kann, ist insbesondere von *Penck* betont worden. Gestatten die Gefässwände ein Ueberschäumen, so fliesst ein Teil der eingeschlossenen Flüssigkeitsmasse aus, während dann, wenn sich einem solchen seitlichen Austreten Hindernisse entgegenstellen, eine Zerstäubung eintritt, welche die in minimale Aggregate sich auflösenden Oberflächenbestandteile vertikal emportreibt.

schliesslich in der nächsten Nähe grosser Wasseransammlungen zu finden seien. Inwieweit freilich zentralasiatische und zentralafrikanische Feuerberge diese Behauptung thatsächlich widerlegen, das vermögen wir noch nicht zuverlässig zu entscheiden; wenn wir jedoch einen Blick auf Karten werfen, welche uns die Verteilung von Land und Wasser für irgend eine geologische Epoche der Vorzeit vor Augen stellen, so sehen wir, dass — vorab im tertiären Zeitalter — Ausbrüche an Orten stattgehabt haben, welche damals vom Meere oder von grösseren Binnenseen weit entfernt lagen. Auch hat, wie wir bald erfahren werden, die moderne Vulkantheorie teilweise mit der Hypothese gebrochen, dass subterran eindringendes Wasser eine unerlässliche Vorbedingung vulkanischer Emissionen sei. Immerhin wohnt jener älteren Vorstellung eine gewisse Richtigkeit inne. Bei der Betrachtung der Verteilung der Vulkane auf der Erdoberfläche drängte sich nämlich eine ganz andere Wahrheit empirisch auf, deren Wesen sich mit kurzen Worten dahin bestimmen lässt: *Die Vulkane bevorzugen in ihrer Lage aufs entschiedendste die grossen Bruchlinien der Erdrinde.* Da nun die durch solche Brüche entstandenen und durch die Bruchlinien als Uferränder abgeschlossenen Hohlräume von demjenigen Stoffe ausgefüllt wurden, welcher sich stets nach den dem Erdmittelpunkte am meisten benachbarten Stellen begibt, also vom Wasser, so erscheint der Umstand, dass Küstenstrecken die meisten vulkanischen Berge enthalten, allerdings nicht als ein ganz zufälliger, sondern, sobald noch die später anzustellenden Erwägungen hinzugenommen werden, als ein geotektonisch wohl zu erklärender.

Indem wir nun der *Vulkangeographie* selbst näher treten, erklären wir, dass wir aus Gründen der Kürze *aktive* und *erloschene*, resp. *in geologischer Vorzeit gebildete* Vulkane zusammen behandeln, obwohl wir uns nicht verhehlen, dass aus manchen Ursachen eine getrennte Behandlung beider manches für sich hätte. Vielfach freilich ist man gar nicht sicher, ob ein bestimmtes Individuum in die eine oder andere Klasse zu versetzen wäre. Einen einstmaligen Vulkan können wir in vielen Fällen ohne Mühe als solchen identifizieren, wenn sich nämlich Aschenkegel und Krater erhalten haben; in anderen Fällen ist die Denudationsreihe, welche von der Natur selbst ausging, eine bereits so weit fortgeschrittene, dass nur Ueberreste, Lavaströme, mit vulkanischem Materiale erfüllte Gänge, Einsturzbecken [1]), das einstige Vorhandensein eines eigentlichen Vulkanes bezeugen. Zu den homogenen Vulkanen haben wir auch zu rechnen die den *Lakkolithen* (S. 138) nahe verwandten *Batholithen*; wenn die Eruption unterhalb der heutigen Erdoberfläche ihr Ende erreicht hat, so ist ein Kern aus vulkanischer Masse übrig geblieben, den die Denudation aus den sedimentären Gesteinen, welche ihn früher verhüllten, sozusagen herausgeschält hat.

[1]) Die durch vulkanische Mitwirkung entstandenen, grossenteils mit Wasser angefüllten Hohlräume oder *Maare* sollen jetzt noch nicht den Gegenstand näherer Betrachtung bilden. Sie gehören zu den Seen und finden als solche ihre naturgemässe Stelle im Systeme in Abschnitt XIV.

Anschliessend an diese Darlegung verzeichnen wir jetzt kurz die Vulkane der Erde, indem wir die einzelnen Erdteile auf das Vorkommen solcher Erhebungen durchmustern.

a) *Europa.* Aktive Feuerberge besitzt unser Erdteil nur noch im *Aetna,* im *Vesuv* und im *Stromboli-Berge.* Italien ist aber auch, von diesen noch lebenden Zeugen einer grossen geologischen Vergangenheit abgesehen, reich an erloschenen Vulkanen. Hierher gehören die *phlegräischen Felder* bei Neapel[1]) nebst den Inseln *Ischia* und *Procida*, die *Rocca monfina* an der Grenze von Mittel- und Unteritalien und ansehnliche Teile des Albaner- und Latinergebirges (See von Bolsena, von Nemi), und der östlich des Apennin vereinzelt aufragende *Vultur;* hierher gehören fast sämtliche Liparen, Sardinien und Pantellaria[2]). Spanien entbehrt, bis auf einen schmalen Küstenstrich in Katalonien, der alten Vulkane gänzlich; die Balkanhalbinsel kennt, soweit das Festland in betracht kommt, nur die Trachytdurchbrüche von Argolis (S. 138) und die Solfataren im Korinthischen (S. 140), zu welch beiden Erscheinungen die Eruptivmassen von Aegina in ursächlicher Beziehung stehen dürften. Kleine submarine Ausbrüche will man 1847 und 1865 im *Golfe von Ambrakia* beobachtet haben. Vulkanisch sind endlich die Zykladen, von denen uns Santorin bereits (S. 144) bekannt geworden ist, und auch der Nordseite von Euböa gehören zwei Trachytkegel an, wie denn auch Samothrake grossenteils aus Eruptivgestein besteht. Russland und Skandinavien entbehren gleichmässig junger und alter Vulkane, doch gehört letzterem politisch auch die klassische Vulkaninsel *Island* zu (*Hekla, Krabla*), auf welcher sich 1875 erst ein neuer Vulkan, der *Oskjagja,* gebildet hat. Von Grossbritannien ist, die Basaltergüsse einzelner schottischer Inselchen (S. 69) abgerechnet, wenig zu berichten; Frankreich dagegen besitzt weite Vulkangebiete, von denen vorzugsweise das der *Auvergne* unser Wissen von den Vulkanen zu bereichern geholfen hat. Oesterreich-Ungarns alte Vulkane reichen teilweise in sehr frühe geologische Zeiten hinauf, so z. B. die vielbesprochenen Porphyr- und Melaphyrdurchbrüche von *Bozen* und *Predazzo* (im Fleimserthale); teilweise gehören sie erst dem Tertiär an, wie der noch wohl erhaltene, von *Goethe* einlässlich beschriebene *Kammerbühl* bei Eger. Deutschlands wichtigstes Vulkanterritorium endlich ist die *Eifel,* in welcher alle Gattungen von geschichteten, homogenen und uneigentlichen Vulkanen mit-

[1]) In dieser Gegend ist in historischer Zeit, am 27./28. September 1538, ein neuer Vulkan, der *Monte nuovo*, aus der Erde gestiegen. Ein gewisser *Del Nero* und *Porzio* haben als Augenzeugen die mit dieser Katastrophe verbundenen Erscheinungen beschrieben, und gleichfalls von einem Teilnehmer des Ereignisses wurde ein sehr merkwürdiger Holzschnitt zu demselben verfertigt, den *E. Suess* in sein „Antlitz der Erde" (2. Band. S. 482) aufgenommen hat.

[2]) Pantellaria selbst enthält nur noch zahlreiche Fumarolen. In seiner Nähe aber befindet sich die Stelle der kurzlebigen Insel *Ferdinandea*, welche 1831 infolge eines heftigen unterseeischen Ausbruches entstand und, ehe noch die an ihre Entstehung und Besitzergreifung sich knüpfenden politischen Erörterungen eine greifbare Gestalt angenommen hatten, sich wieder in den Schoss des Meeres zurückzog.

einander abwechseln. Von verschiedenen Domvulkanen ist bereits oben (S. 138) die Rede gewesen; ihnen reiht sich der *Rauhe Kulm* (südlich vom Fichtelgebirge) an. Im Riess endlich hat *v. Gümbel* zahlreiche Tuffe, Laven, Lapilli ausgegraben, welche Funde ihn dazu berechtigten, der Tertiärperiode einen förmlichen *Riessvulkan* zuzuschreiben [1]).

b) *Afrika.* Die kleinen Inseln in der *Biafra-Bai* liegen auf einer deutlich erkennbaren Vulkanspalte, welcher auch der heute nicht mehr aktive *Kamerunpik* (über 4000 m Höhe) angehört. Von den sonstigen afrikanischen Inseln sind die *des Grünen Vorgebirges* mit Kratern und Vulkankegeln dermassen bedeckt, dass die von *Dölter* aufgenommenen Bilder derselben unwillkürlich an die Mondoberfläche gemahnen, und ebenso sind die *Kanarien*, denen der mächtige *Pik de Teyde* angehört, durchaus vulkanisch. Feuerberge gibt es auf den *Azoren* heutzutage nicht mehr, aber auf deren dereinstige Anwesenheit weisen die als *Caldeiras* bekannten, von *Hartung* näher beschriebenen Kesselthäler hin. *St. Helena, St. Paul,* die *Maskarenen* und *Komoren* sind vulkanische Bauten, wie denn auch im nördlichen Madagaskar sich noch vier thätige Vulkane vorfinden. Der ganze Ostrand des afrikanischen Festlandes enthält endlich in reicher Fülle erstorbene Vulkane, und zu diesen gehört vielleicht auch der *Ruwenzori Stanleys*, zweifellos aber, wie *H. Meyers* Besteigung festgestellt hat, der Scheeberg *Kilimandjaro.*

c) *Asien.* Der Westen des Weltteiles enthält nur erloschene oder in den Solfatarenzustand eingetretene Vulkane; namhaft zu machen sind die γῆ κατακεκαυμένη in Kleinasien, der *Erdschias Dagh* und, nach *Abich*, einige *armenische* Berge. Dass in Arabien noch im XIII. Jahrhundert unserer Zeitrechnung eine folgenschwere Eruption sich ereignet habe, berichten sonst glaubwürdige Geschichtschreiber. Der Kaukasus ist reich an ehemaligen Vulkanen, ja sogar seine beiden Hauptgipfel, *Elbrus* und *Kasbek*, tragen diesen Typus an sich. Persien und Vorderindien sind, wenn man auf den submarinen Ausbruch von Pondichéry (1757) verzichtet, ganz vulkanfrei [2]), ebenso kann mit Sicherheit kein zentralasiatischer und chinesischer Vulkan namhaft gemacht werden [3]), dafür aber weist neben zahlreichen ausgebrannten die Halbinsel Kamtschatka 12, die Kette der Aleuten 48 und die der Kurilen 20 thätige Feuerberge auf. Ueberhaupt ist der Vulkanreichtum aller zu Asien gehörigen Inseln ein sehr beträchtlicher. In Japan stehen heftige vulkanische Kataklysmen heute noch auf der Tagesordnung, und

[1]) Auffallenderweise ist das Riessbecken bis in die Neuzeit der Schauplatz zahlreicher und für mitteleuropäische Verhältnisse sehr lebhafter Erderschütterungen gewesen.

[2]) Aeltere Ausbrüche haben allerdings stattgefunden; im Dekhan z. B. tragen ganze Provinzen einen dichten Basaltmantel.

[3]) Bedeutende Forscher, *Stolicka, Muschketow, v. Richthofen,* haben über die angeblichen Vulkanreste Zentralasiens verschiedene Ansichten geäussert. Bemerkt wurde bereits, dass vielleicht Erdbrände mit Vulkanen verwechselt worden seien (S. 134).

der mächtige Fuji-no-yama (S. 137) soll sich sogar in historischer Zeit erst gebildet haben. Ferner ist Formosa ebenso wie die Mehrzahl der Philippinen mit Vulkanen besetzt, und diese führen hinüber zu den Sundainseln und Molukken, in deren Bereiche sich deutlich verschiedene, teilweise sich kreuzende Reihen von Vulkanspalten nachweisen lassen [1]).

d) *Australien und Ozeanien*. Der Kontinent Australien besitzt rezente Vulkane nicht, erloschene nur in der Provinz Viktoria. Dagegen ist die Mehrzahl der grossen Inseln sowohl als auch der kleineren mikronesischen und polynesischen Eilande vulkanisch. Doch wollen wir ausdrücklich nur Neuseeland und Hawaii hervorheben. Die erstgenannte Doppelinsel ist uns durch die Forschungen von *Haast*, *v. Hochstetter* und *Hector* sehr genau bekannt geworden, und wir wissen, dass die stark vergletscherte Südinsel nur noch geringe Spuren einstmaliger vulkanischer Rührigkeit bekundet, dass dagegen die kleinere Nordinsel zu den grossartigsten Schaustätten der unheimlichen Erdkräfte gehört. Der *Whakari, Taranaki* (*Mount Egmont*, S. 138), *Tarawera* und *Tongariro* sind Stratovulkane von reinstem Gepräge; Solfataren und heisse Quellen überdecken einen weiten Landstrich, wie uns Abschnitt XIV des näheren belehren wird. Hawaii endlich zählt vier Vulkane, von denen der *Mauna Lea* und *Mauna Koa* (beide von ungefährer Montblanc-Höhe) in den verschiedensten Hinsichten unser Interesse zu erwecken geeignet sind. Der erstgenannte zeichnet sich vor anderen Vulkanen dadurch aus, dass er des eigentlichen Kraters entbehrt, und dass die ungeheuren ihm entquellenden Lavamassen ruhig, ohne dass vorher erhebliche Erzitterungen des Bodens darauf hingewiesen hätten, aus radialen Spalten ihren Austritt nehmen. An der einen Seite des Bergkegels befindet sich der bekannte *Feuersee*, der fast immer mit glutflüssiger Lava, statt des Wassers, angefüllt ist. Im Dezember 1885 sollen dessen Wände geborsten sein.

e) *Amerika*. Den fünf *Alaska-Vulkanen* schliessen sich südlich die eine sehr bedeutende Höhe erreichenden Vulkangipfel des *Kaskadengebirges* (*Eliasberg*) an; Rocky-Mountains und Sierra Nevada haben in der Quartärperiode wohl kaum mehr, wohl aber noch in der jüngeren Tertiärzeit vulkanische Ausbrüche erlebt. Die jüngsten vulkanischen Ablagerungen der Nordhälfte sind mutmasslich die Trachyte und Basalte des *Yellowstone-Thales*. Mexikos neun aktiven Feuerbergen (S. 139) stehen zahlreiche inaktive zur Seite. Noch ungleich reichhaltiger an beiden ist das südliche Mittelamerika, dessen sämtliche Vulkanpiks *Stoppani* auf einer Längsspalte und mehreren diese rechtwinklige durchsetzenden Nebenspalten anzuordnen versucht hat. Der *Pico Blanco* allerdings ist unvulkanisch; dafür aber ist die Menge der Vulkane Guatemalas und Nicaraguas

[1]) An der Nordseite der jetzt zerstörten Insel Krakatau (S. 143) schneiden oder schnitten sich zwei vulkanische Spalten. Die eine derselben ist diejenige, auf welcher die Vulkane von Java aufgereiht liegen, während der anderen die Inselchen Sebuku und Sebesie angehörten. Letztere ist anlässlich des furchtbaren Ereignisses gänzlich von der Erde verschwunden.

nach *Pennesi* reichhaltiger, als die Liste von *Th. Fuchs* vermuten lässt. Am meisten wird wegen der von ihm schon angerichteten Zerstörungen der *Coseguina* (S. 144) gefürchtet. Während ferner das östliche Südamerika in unserer Zusammenstellung ganz ausfallen muss, sind die dem Westrande parallel laufenden Anden um so reicher an Vulkanen. Der *Pinchincha* und *Cotopaxi* im Staate Ecuador, der *Urinas* und *Illascar* in Peru (resp. Bolivia) sind die bekanntesten. Lange hat man über den vulkanischen Charakter des *Chimboraço* und des (chilenischen) *Aconcagua* gestritten; ersterem scheint derselbe abgesprochen werden zu müssen, aber der von *Güssfeldt* näher untersuchte Aconcagua gehört noch immer zu den strittigen Objekten. Die Landeseinwohner nennen ihn *„el volcan"*, und Fumarolenwirkung lässt sich an seinen Gesteinen bestimmt nachweisen, während allerdings *J. Roth*s petrographische Prüfung der von *Güssfeldt* mitgebrachten Proben weder von Laven noch von jüngeren Eruptivgesteinen sichere Zeichen ergeben hat. — Von den amerikanischen Inseln sind die *Antillen* und *Galapagos* hochvulkanisch.

f) *Polargebiete.* Im nördlichen Eismeere, von der Insel *Jan Mayen* abgesehen, sind noch gar keine Spuren alter oder rezenter Vulkanaktion aufgefunden worden. Anders im südlichen Eismeere, in welchem *Young-Island* sicherlich, *Buckle Island* wahrscheinlich vulkanisch ist. Die beiden von *Ross* während einer Eruption beobachteten Vulkane *Erebus* und *Terror* (77° s. Br.) sind seitdem von keinem Forscher mehr aufgesucht worden.

T h e o r i e d e s V u l k a n i s m u s. Eine in jeder Hinsicht zufriedenstellende Erklärung der vulkanischen Erscheinungen ist noch nicht aufzustellen gelungen, denn gegen jede Hypothese, mit welcher sich ein oft erheblicher Teil der Beobachtungen vereinbaren liess, sind nachher wieder Einwände erhoben worden, deren Berechtigung man nicht leugnen konnte. Altertum und Mittelalter waren darin einig, dass ein Glutmeer, der *Pyriphlegethon* der Mythologie, einen grossen Teil des Erdinneren erfülle und sich von Zeit zu Zeit durch bestehende oder neu eröffnete Kanäle hindurch einen Zugang zur Erdoberfläche bahne. *A. Kircher* hat in seinem *„Mundus subterraneus"* diese Anschauung durch eine sehr drastische Zeichnung erläutert, und nur der einzige *Seneca*, wohl überhaupt der glücklichste Denker der älteren Zeit in geologischen Dingen, hat die herrschende Lehre in dem Sinne modifiziert, dass er bloss einzelne, unter sich nicht zusammenhängende Glutherde in der Erdrinde annahm. Als im vorigen Jahrhundert die früher wenig bekannte Naturkraft der Elektrizität mehr und mehr in den Vordergrund des Interesses trat, entstand eine ganze Reihe von elektrisch-vulkanischen Theorien, und noch *Ampère* brachte die Vulkanausbrüche mit den unzähligen elektrischen Elementarströmen in Verbindung, welche nach der von ihm begründeten Ansicht den Erdball umgeben und zu einem grossen Magneten (s. u. in Abschnitt IX) machen sollten. Die Chemiker ihrerseits erblickten zum Teile in den Eruptionen

nur das Ergebnis von Prozessen der Selbstentmischung und der lokalen Explosion; neuerdings noch hat *Jančeek* der chemischen Theorie eine zeitgemässere Form zu geben versucht, und man darf wohl auch zugeben — das blosse Beispiel der Schlammsprudel (S. 140) reicht in dieser Hinsicht aus —, dass kleine Ausbrüche, die einen mehr oder weniger vulkanischen Charakter haben, unter Umständen von chemischen Veränderungen der sehr nahe an der Oberfläche befindlichen Mineralstoffe bewirkt werden können [1]. Insofern auch der Verbrennungsprozess wesentlich chemischer Natur ist, dürfen wir hierher auch die Erdbrandtheorien rechnen, zu denen die starr-neptunistische Richtung *Werner*s und seiner Jünger ihre Zuflucht nahm, um nur ja nicht das Vorhandensein grösserer feurigflüssiger Massen in der Erde zugeben zu müssen. *G. Bischof* freilich, der an Strenge des neptunistischen Glaubensbekenntnisses sonst wenig hinter *Werner* zurückstand, trug doch der Zunahme der Erdwärme mit der Tiefe, deren Gesetze er durch Versuche mit erkaltenden Basaltkugeln selbst zu ergründen bemüht gewesen war, einige Rechnung und sprach sich dahin aus, dass die bis zu Gesteinsmassen von sehr hohen Hitzegraden durchgesickerten Wassermassen dortselbst eine plötzliche Dampfbildung und gewaltsame Ausdehnung hervorrufen möchten. In einem gewissen Sinne berührte sich *Bischof* demgemäss mit jenem Zyklus vulkanistischer Theorien, welche wir als die *nicht-magmatischen* zu bezeichnen ein Recht haben.

Der gemeinsame Grundgedanke derselben ist dieser: *Es ist einfürallemal kein vorhandenes Reservoir von geschmolzener mineralischer Materie anzunehmen, welchem die aus dem Vulkanschlote strömenden Lavamassen entnommen werden, sondern die als Lava gebildete zähflüssige Masse bildet sich immer erst kurz vor dem Eruptionsakte kraft mechanischer Einwirkung.* Zugrunde liegt dieser Annahme der bekannte Satz der mechanischen Wärmetheorie, dass jede durch ein Hindernis gehemmte *Massenbewegung* sich in die von der Physik eben als *Wärme* bezeichnete *Molekularbewegung*, Schwingung der kleinsten Körperbestandteile, umsetzen muss. Herabfall und Herabrutschen losgetrennter Massen im Inneren der Erdrinde, anderweite Gleichgewichtsstörungen, wie Faltung u. dgl. werden, darüber kann kein Zweifel bestehen, sehr bedeutende Wärmemengen auslösen, und diese Wärme vermöchte dann wohl wieder, wie es der bekannte Kreisprozess verlangt, mechanische Arbeit, nämlich das Auftreiben der Lava und die Ejektion der Gesteine zu leisten, nachdem zuvor unter ihrem Einflusse festes in geschmolzenes Gestein übergegangen wäre. Der Umstand jedoch, dass Vulkane an Orten massenhaft auftreten, in deren Nachbarschaft tektonische Störungen weder jetzt beobachtet werden, noch auch in früheren geologischen Zeit-

[1]) In älteren Schriften findet man gerne ein Experiment behufs künstlicher Nachbildung von feuerspeienden Bergen zur Erklärung herangezogen: man grub Schwefel und Eisenfeilspäne in feuchte Erde ein und sah dann, dass diese unter leichten Explosionen in die Höhe geworfen wurde.

altern statthatten, der Umstand ferner, dass wir die Bewegungen im Inneren latent-plastischer Massen unter die anderweit erforschten Gesetze nicht ohne weiteres einzuordnen ein Recht haben, diese Umstände lassen uns die ohnehin mit der in Abschnitt III dargelegten Grundvorstellung nicht übereinstimmenden nicht-magmatischen Theorien ablehnen.

Eine mehr vermittelnde Stellung zwischen diesen und den nachher zu besprechenden nimmt *Reyer*s wie immer wohldurchdachte Meinung ein. Derselbe gibt die Existenz eines subterranen Magmas zu, glaubt aber, dass dasselbe durch den darauf lastenden Druck in einem Uebergangszustande vom festen zum flüssigen Aggregatzustande festgehalten werde. Nur dann, wenn eine bis zu Massen von solcher Beschaffenheit herabreichende Spalte sich öffne, werde dieser Druck plötzlich weggenommen, jähe Schmelzung mit reichlicher Entwicklung von Gasen und Dämpfen trete ein, und nun seien mit einem male sämtliche Vorbedingungen einer vulkanischen Eruption gegeben. Was uns von der Billigung dieses vielfach zu billigende Gedanken in sich schliessenden Erklärungsmodus abhält, ist das Auftreten regelmässig arbeitender Feuerberge. Weshalb soll hier immer, an anderen Orten nur ganz ausnahmsweise eine Verringerung des Gesteinsdruckes den Akt des Auswurfes begünstigen?

Die *magmatischen Hypothesen* knüpfen teilweise vollständig an die von *Humboldt* und *Buch* in der Jugendepoche des Vulkanismus aufgestellten Hypothesen an. Dass die Attraktion der Himmelskörper die Hebung des Magmas und die Ausstossung der Lava unterstützen könne, wird namentlich von *Perrey, Falb, Habenicht*[1]) behauptet, während nach der Ansicht der grossen Mehrzahl der Fachmänner eine objektive Statistik jenen Einfluss gar nicht oder doch nur in minimalem Grade nachweist. Wenn freilich die ganze Erde, von der wenig mächtigen Kruste abgesehen, von magmatischer Masse erfüllt wäre, dann möchten immerhin namhafte Oszillationen dieses Glutballes nach Art von Ebbe und Flut eintreten können, allein auch diese würden durch Reaktion gegen die Erdoberfläche sich nimmer bemerklich machen, wenn nicht — wenigstens an vielen Stellen — ein freier Zwischenraum zwischen fester Erdrinde und

[1]) Der genannte Geograph, dessen konsequente Bestrebungen auch von unserem ganz verschiedenen Standpunkte aus anzuerkennen sind, betrachtet seine Vulkanlehre nur als Teil eines umfassenderen geologischen Systemes, dessen Grundzüge er selbst mit nachstehenden Worten (Ausland 1890, S. 687) bestimmt. „Die dem Erdinneren allen Anzeichen nach beigemengten Wassermengen können bei der hohen Temperatur unter jedem beliebigen Drucke nur in Dampfform existieren, sie werden durch das glühende Magma allmählich sich emporarbeiten, werden aber nicht imstande sein, die plastischen, unter ungeheurem Drucke befindlichen Gesteinsschichten an der unteren Seite der Erstarrungskruste zu durchdringen, wohl aber sie zu heben. Für diese Annahme sprechen zahlreiche Thatsachen, z. B. das Eintreten von Maxima der Begleiterscheinungen von Bewegungen der Erdrinde, wie Erdbeben und Vulkanausbrüche, zuzeiten, wo, wie bei grösserer Nähe der benachbarten Gestirne, geringerem Luftdrucke, Ebbe u. dgl., der Schwerkraft ungewöhnlich stark entgegengearbeitet wird, die hebenden Kräfte also unterstützt werden . . .“

der Kugel aus geschmolzener Mineralmasse vorhanden wäre. Mit unserer früher gewonnenen Ueberzeugung (S. 56), *dass im Erdinneren alle denkbaren Aggregatzustände, ohne jeden jähen, vielmehr mit völlig stetigem Uebergange vom einen zum anderen, sich vorfinden müssen,* ist die gewöhnliche Auffassung nicht zu vereinen. Ungleich mehr hat die von sehr bedeutenden Fachmännern [1]) vertretene Theorie *von der Einwirkung des Sickerwassers* für sich. Meteorisches oder auch stehendes Wasser (von nahe gelegenen Meeren oder Seen) soll sich den Weg bis zum Magma bahnen und daselbst Dampfbildung bewirken können; sobald diese ein gewisses Mass der potentiellen Energie überschritten hat, setzt sie sich in aktuelle Thätigkeit um, erweitert die schon gerissenen Spalten und öffnet auch wohl neue, durch welche die in Schmelzfluss schon befindlichen oder nachträglich in ihn übergegangenen Gesteine als Lava herausbefördert werden. Eben darum legte man früher viel Gewicht auf das angeblich von der Geographie ermittelte Gesetz von der nahen Nachbarschaft zwischen Meeresküsten und Vulkanen (S. 148).

Dieses Gesetz ist nun aber, wie wir sahen, so löcherig geworden, dass es kaum noch wirklichen Wert beanspruchen kann, und die Ausdehnung klaffender Spalten bis zum Magma hin ist mit sehr einleuchtenden Gründen von *Löwl* als unwahrscheinlich nachgewiesen worden. *Die Existenz eines zonalen Raumes von latenter Plastizität im Erdinneren macht Spaltenbildung grossen Masstabes einfach unmöglich.* Selbst wenn wir uns für den Augenblick eine Spalte gewaltsam in dieses Gebiet eindringend vorstellen, so wird dieselbe doch durch den von allen Seiten gleichmässig wirkenden Gesteinsdruck im nächsten Momente wieder zum Schliessen gebracht und dadurch verhindert werden, dem nach oben strebenden Magma den Durchgang zu verstatten.

Unter solchen Verhältnissen liegt es wohl nicht ferne, an eine Modifikation der magmatischen Theorie zu denken, welche im Keime bereits in *Seneca*s geistvollen Spekulationen über den Vulkanismus vorgebildet liegt, welche *Hopkins* später theoretisch begründete, und auf die neuerdings, und zwar von ganz anderen Beweggründen geleitet, der Amerikaner *Dutton* verfallen ist. *Im Inneren der Erdrinde könnten sich, völlig losgetrennt von der zusammenhängenden magmatischen Kugelschale in grösserer Tiefe, isolierte Hohlräume, gefüllt mit glutflüssiger Masse erhalten haben, in denen demgemäss der Sitz der vulkanischen Kräfte zu erblicken wäre* [2]). Damit freilich, dass

[1]) Gestützt auf eine von ihm verfasste, für die Vulkankunde voraussichtlich sehr wertvoll werdende Monographie der Feuerberge auf Hawaii (S. 152), schreibt *Dana* den oberirdischen Wassern bei der Dampfbildung im Vulkanschlote eine sehr gewichtige Aktion zu.

[2]) *Dutton* nennt diese Glutherde „*maculae*"; ihre Entstehung denkt er sich allerdings so, dass erst durch die Bewegungen in der Erdkruste Gestein in Magma verwandelt werde. Wichtig aber ist für uns nicht diese spezielle Auffassung, sondern wesentlich nur *die Verlegung des Ortes, von welchem die Lava stammt, in sehr geringe Tiefen.* Dadurch ist natürlich keineswegs ausgeschlossen, dass nicht mehrere solche Räume untereinander durch Kanäle in Verbindung stehen, denn darauf weist schon das Vorkommen von Vulkanspalten

wir das Vorhandensein solcher Magmanester zugeben, ist die treibende Kraft, welche die Eruptionen veranlasst, noch lange nicht erklärt, und diese scheint sich denn auch in einer durchaus befriedigenden Weise heutigen Tages nicht erklären zu lassen. Wahrscheinlich wird man bei dieser, wie bei so mancher anderen naturwissenschaftlichen Streitfrage darauf verzichten müssen, eine *einheitliche*, für alle Fälle gleichmässig heranzuziehende Ursache zu postulieren; zwei örtlich verschiedene Vulkanausbrüche können sehr ähnlich verlaufen, und doch können die treibenden Agentien das eine mal ganz andere als das andere mal gewesen sein. Zweierlei Momente haben wir jedoch sicher im Auge zu behalten: *die Bildung hochgespannter Dämpfe,* veranlasst durch eindringendes Wasser (nach *Dana*) und *die Auspressung magmatischer Materie*, veranlasst durch tektonische Veränderungen in der Erdrinde (nach *Prestwich*). Ersteres bedarf der näheren Auseinandersetzung nicht, aber nicht minder scheint auch klar zu sein, dass ein lokaler Magmaherd, der vollständig gefüllt ist und infolge der Schrumpfung der Erdkruste auf ein kleineres Volum, als er es bisher hatte, reduziert werden soll, einen Teil seines Inhaltes abzugeben gezwungen wird. Sind schon Spalten vorhanden, so wird dieser überschüssige Teil von ihnen Gebrauch machen, er wird in ihnen emporquellen; anderenfalls werden neu sich bildende *Quetschfalten* (nach *Pilar*) oder *Verwerfungsklüfte* die Wege für die nach oben sich ergiessende Lava bilden. Vielleicht erscheint die Vermutung nicht ungerechtfertigt, dass das Wasser mehr bei *Stratovulkanen*, ihrer Bildung und Vergrösserung, beteiligt ist, während *homogene* Vulkane mehr in Gleichgewichtsstörungen des Schichtenbaues ihren Grund haben. Es würde wenigstens mit dieser Hypothese das häufige Vorkommen von rezenten Ausbrüchen aus Kratern, sowie das gleichfalls häufige Auftreten von kraterlosen Vulkanen in solchen geologischen Zeitaltern stimmen, während deren nachweislich die Faltungsbewegung eine besonders energische gewesen ist. Die grossen Bruchlinien der südöstlichen Alpen z. B., welche in der Triasperiode entstanden, waren anscheinend auch die Oeffnungen, durch welche sich die vulkanischen Massen jener Gegenden den Austritt erzwangen, nachdem ihnen nur nach oben, durch Risse in der Aussenhülle der sich damals rasch und namhaft verkleinernden Erdkugel, ein Ausweg übrig gelassen war.

Auch die bekannte Thatsache des *zeitweiligen* oder *gänzlichen Ersterbens der vulkanischen Thätigkeit* vereinbart sich gut mit unserer Annahme. Wenn nicht das unerschöpfliche abyssische Magmameer, sondern lediglich ein begrenztes Residuum desselben die Vorräte an Lava hergibt, so lässt sich leicht verstehen, dass der Behälter allmählich sich erschöpft; der Vulkan ist dann im wahren Wortsinne *erloschen* oder *ausgebrannt*. Andererseits mögen die Verschiebungen im Inneren der Erdrinde sehr wohl es bewirken, dass

hin, denen eine bedeutende Längenausdehnung zukommt. Auch *Daubrées* neue Theorie der Eruptionen (s. u. in Abschnitt XIV) setzt eine Vielzahl solcher subterraner Verbindungswege voraus.

der Schlot, vermittelst dessen das Reservoir mit der Oberfläche in Verbindung stand, unterbrochen oder ausgefüllt, jene Verbindung somit aufgehoben ward. Allein dann ist der Ruhezustand des Vulkanes nur ein vorübergehender; sowohl ein plötzliches Anwachsen der Triebkraft, als auch die Eröffnung neuer Kommunikationen auf geodynamischem Wege vermag neue Eruptionen sozusagen *auszulösen*, und der Vulkan stellt sich damit aufs neue in die Reihe der aktiven Feuerberge.

VIII. Erdbeben.

Beschreibung und Klassifikation der Erdbeben. Als Erdbeben, Erdstoss oder Erderschütterung (lat. *terrae motus*, griech. σεισμός) bezeichnet man jedes plötzliche, mehr oder minder heftige Erzittern des Bodens dann, wenn die Ursache zweifellos *unter* und nicht *über* der Erdoberfläche sich befindet. Oszillationen also, welche etwa im Gefolge des Aufschlagens eines Meteorsteines, des Niedergehens eines Bergrutsches, des Abfeuerns eines Geschützes auftreten, zählen wir *nicht* zu den Erdbeben, wiewohl äusserlich die Aehnlichkeit eine sehr grosse sein kann.

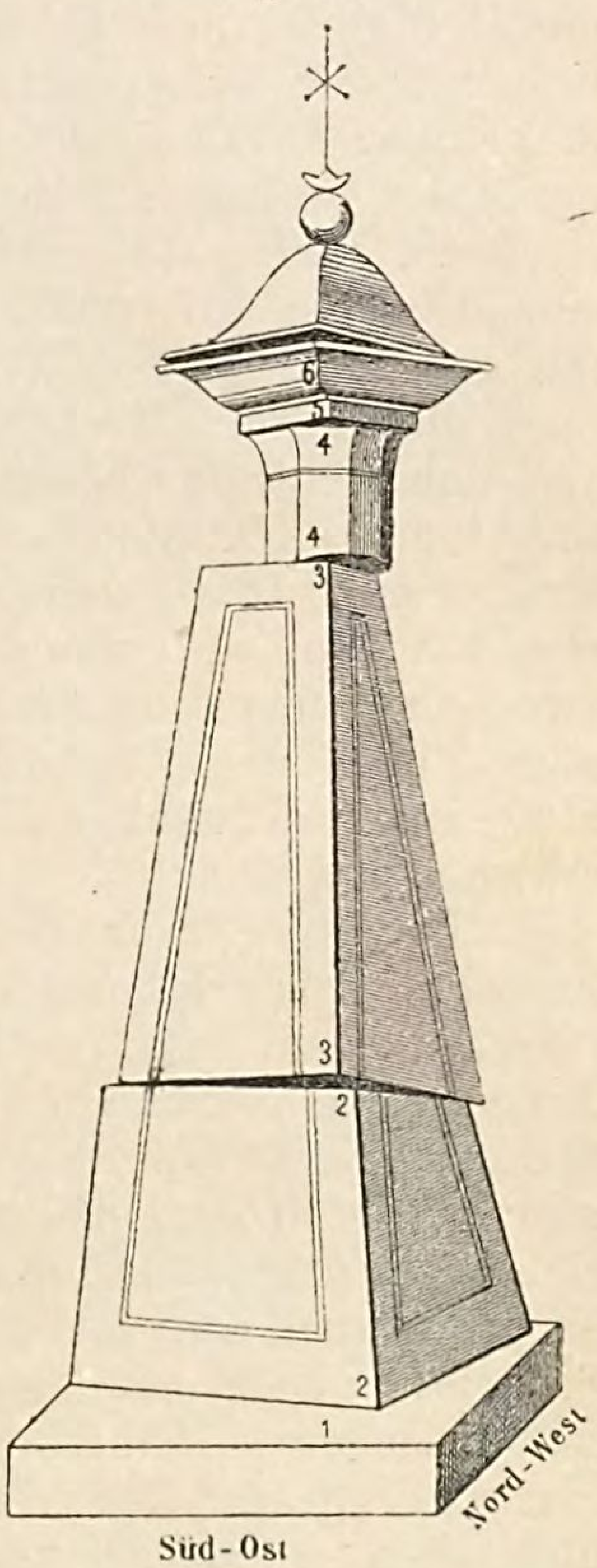
Erdbeben sind eine überaus häufige Erscheinung, und es wird kaum ein Tag verstreichen, an welchem nicht irgendwo auf der Erde ein freilich oft nur schwaches Erzittern des Bodens zu konstatieren wäre. Immerhin verhalten sich die einzelnen Erdgegenden in dieser Beziehung überaus verschieden, denn während es Oertlichkeiten gibt, in deren Bereiche ein Erdstoss etwas unerhörtes ist, werden andere Teile der Erde von mehr oder minder heftigen Erschütterungen immer und immer wieder heimgesucht. Man spricht im letzteren Falle von *habituellen Stossgebieten* (Südamerika, Japan, Hinterindien, Süditalien). In einem solchen Gebiete kann es sich wohl ereignen, dass der Erdboden tagelang in unaufhörlicher, wenn auch der Amplitude nach nicht sehr beträchtlicher Schwankung verharrt[1]; statt einzelner Erdbeben sind dann sogenannte *Erdbebenschwärme* aufgetreten[2]. Letztere sind hinsichtlich ihrer Wirkungen natürlich lange nicht so sehr zu fürchten, wie die kurzen einmaligen Stösse, von deren verheerenden Folgen uns die Erdbebengeschichte

[1]) Die Amplitude kann eine so geringe sein, dass es unsicher wird, ob man es mit einem Erzittern der Erde im engeren Sinne oder aber mit einer bradyseismischen Bewegung (S. 131) zu thun habe.

[2]) *Jul. Schmidt*, der mit eigener Gefahr sich dem Studium der — durch einzelne sehr intensive Stösse unterbrochenen — Erdbebenschwärme in der griechischen Provinz Phokis gewidmet hat, nimmt an, dass im Verlaufe von $3^1/_2$ Jahren (1870—1873) $^1/_2$—$^3/_4$ Millionen deutlich erkennbare Erschütterungen des Bodens sich dortselbst ereignet hätten.

nur allzu zahlreiche Belege vorführt. Am 1. November 1755 wurde durch nur zwei Stösse Lissabon zerstört, bei welcher Gelegenheit 30000 Menschen ums Leben kamen, und ebenso genügten am 26. März 1812 drei Stösse, deren stärkster nur vier Sekunden anhielt, um die ganze Stadt Caracas in Trümmer zu legen. Meist pflegt nicht der erste Impuls der heftigste zu sein, sondern erst beim zweiten oder dritten Stosse entfaltet das Erdbeben seine Vollkraft, bis dann in einer Reihe immer schwächer werdender Erschütterungen allgemach diese Kraft sich verzehrt[1]).

Fig. 54.



Schon *Seneca* machte in seinen für die dynamische Geologie vielfach wertvollen „*Quaestiones naturales*“ darauf aufmerksam, dass es zwei im Wesen ganz verschiedene Arten von Erderschütterungen gäbe, und diese Thatsache hat durch alle Berichte späterer Zeit Bestätigungen erfahren. Die *sukkussorische Bewegung* besteht in einem vertikalen Auf- und Abschweben des Bodens, veranlasst durch eigentliche Stösse, welche längs eines Erdhalbmessers gegen die Erdoberfläche gerichtet sind; die Wirkung derselben auf Bauwerke ist eine verhältnismässig minder unheilvolle, indem der Zusammenhang zwischen den einzelnen Steinlagen zwar gelockert, aber doch nicht gänzlich aufgehoben wird. Schlimmer steht es bei der *undulatorischen Bewegung*; der schief erfolgende Stoss setzt sich in eine vertikal und in eine horizontal wirkende Komponente um, und diese letztere bewirkt den eigentlichen Zerfall der menschlichen Wohnungen. Wenn die Richtung der Horizontalkraft, wie man es nicht allzu selten beobachtet hat, sich rasch verändert, so eignet dem Erdbeben eine *drehende Wirkung*; einen guten Beleg für diese stellt uns *Fig. 54* vor Augen; dies ist eine Friedhofpyramide, welche *Falb* nach dem grossen Friauler Erdbeben von 1873 zu untersuchen in der Lage war. Der Steinmetz hatte dieselbe aus verschiedenen, in der Figur numerierten

[1]) Gestützt auf seine in dem erdbebenreichen Japan erworbenen Erfahrungen hat *Mendenhall* die mechanischen Kraftleistungen einzelner Erdbeben abzuschätzen gesucht. Dem Erdbeben vom 15. Januar 1887 schreibt er z. B. dieselbe Energie zu, welche ein Gesteinswürfel, dessen Masse 75 Millionen Tonnen beträgt, beim Durchfallen einer Höhe von etwas über 50 m erlangen würde. Auf irgendwelche Genauigkeit macht die Berechnung keinen Anspruch, doch erläutert sie einigermassen die imposante Gewalt solcher Naturereignisse.

Stücken zusammengesetzt; jedes dieser Stücke empfing eine Drehung, doch da die einzelnen Impulse zwar im gleichen Sinne, nicht jedoch sämtlich mit gleicher Energie erfolgten, so gestaltete sich der Erfolg so, wie ihn unser Bild erkennen lässt. Die Bewegungen der Erdrinde scheinen nach glaubwürdigen Zeugen wirklich mitunter so ungeheuerliche zu sein, dass es schwer fällt, sich in die Möglichkeit solcher Zuckungen hineinzudenken. Von dem grossen kalabrischen Erdbeben des Jahres 1783 berichtet *Hamilton*, dass die Berggipfel in eine hüpfende Bewegung geraten seien. Wenn ferner die Chronikenschreiber das grosse südostdeutsche Beben vom 8. Februar 1348, dessen Verwüstungen man heute noch im kärnthnerischen Gailthale überblicken kann, mit den grausigsten Farben schildern und u. a. erzählen, „es seind zwei grosse Berg gegen einander geloffen, und haben alles, was dazwischen gelegen ware, mit ganz grimmigem Gerassel verschlucket und bedecket,“ so möchte man dies gerne der leicht aufgeregten Phantasie des Mittelalters als unberechtigte Eigentümlichkeit zuschreiben, allein bei der furchtbaren Katastrophe von Tasch in Aderbeidschan (Persien), welche erst 1890 sich zutrug, muss sich wirklich ähnliches ereignet haben. Die wenigen Ueberlebenden sagen direkt aus, dass zwei gegenüberstehende Berge „sich geküsst“ und im Zusammensturze alles unter sich begraben hätten, wie denn auch wirklich das genannte Städtchen gänzlich vom Angesichte der Erde verschwunden ist.

Die Frage, ob es verlässige Handhaben für eine *Erdbebenprognose* geben könne, ist schon im grauesten Altertum eifrig erörtert worden, hat aber bis zum heutigen Tage eine befriedigende Antwort nicht erhalten. Dass ein plötzliches Versiegen ergiebiger Quellen, das Trübwerden der Brunnen u. dgl. (S. 142), einem Erdbeben sehr häufig vorhergehen und ein solches signalisieren kann, das wird sich nicht leugnen lassen, allein derartige Unregelmässigkeiten stellen sich wohl auch ein, ohne dass ein Erdbeben ihnen wirklich nachzufolgen braucht. Auch mit den *meteorologischen Indizien* ist es schwach und unsicher bestellt, obwohl — von den auf grundsätzlich irriger Basis beruhenden Spekulationen einiger neuerer Erdbebentheoretiker abgesehen — *Bertelli* und *Melzi* eine gewisse Beziehung zwischen Windrichtung und Windstärke einerseits, dem Auftreten eines Erdbebens andererseits gefunden haben wollen. Ebenso weiss man nicht sicher, ob *erdmagnetische Störungen* zu den regelmässigen Vorboten oder Gefolgserscheinungen einer Erderschütterung gehören oder nicht. Dass die magnetischen Instrumente, wenn eine solche sich ereignet, unruhig werden, ist allerdings gewiss und spricht sich in den Verzerrungen der von Selbstregistratoren gezeichneten Kurven unverkennbar aus, allein aus den von *Wild* und *Eschenhagen* über solche Begebenheiten gesammelten Nachrichten scheint zu erhellen, dass die Wirkung eine rein *mechanische* und keine eigentlich *magnetische* ist, somit auch keine prognostische Bedeutung haben kann. Endlich ist auch noch der *Schallphänomene* zu gedenken. Sie fehlen selten ganz bei einem Erdbeben, leiten es auch oft genug ein und

gewähren so den Bewohnern vielfach von derartigen Katastrophen heimgesuchter Länder die Möglichkeit, auf ihrer Hut zu sein, allein schon *A. v. Humboldt* bemerkte, dass das unterirdische Rollen durchaus nicht jedesmal die Bedeutung habe, welche ihm der Volksglaube beilegt.

Auch von *Schutzmitteln gegen Erdbeben* kann nur ganz bedingt gesprochen werden. Dass Städte, welche auf losem Untergrunde aufgebaut sind, weniger von den Erdstössen zu leiden haben, als solche, welche auf solider Gesteinsgrundlage stehen, ist schon von den Römern behauptet worden und scheint auch bis zu einem gewissen Grade richtig zu sein. Auch die Architektur vermag gegen die Erdbebengefahr einigen Schutz zu bieten, wie denn die japanischen Baumeister von alters her Erfahrungsregeln beobachten, die den Häusern eine gewisse Sicherheit verschaffen. Vor allem ist es erwünscht, die *habituelle Stossrichtung* zu kennen, denn wenn diese bekannt ist, so wird man die Gebäude so zu orientieren suchen, dass deren Hauptachse zu den voraussichtlich zu erwartenden Bruchlinien parallel verläuft. Wie wichtig das werden kann, hat man bei der furchtbaren Katastrophe von Casamicciola auf Ischia (4. März 1881) ersehen.

Verfolgung des Erdbebenverlaufes durch Instrumente. Um die Natur einer Erderschütterung näher ergründen zu können, muss man zuvörderst genaue *quantitative* Messungen der massgebenden räumlichen und zeitlichen Faktoren besitzen, und diesem Zwecke dienen gewisse Instrumente, die man als *Seismographen* und *Seismometer* bezeichnet. Käme es bloss darauf an, sich vom Vorhandensein schwacher Erzitterungen des Bodens zu überzeugen, so würde schon das *Zöllner*sche Horizontalpendel (S. 33) ein ganz brauchbares Hilfsmittel abgeben, allein zu messen vermöchte man mit demselben die bezüglichen Grössen schon deshalb nicht, weil die ausserordentliche Empfindlichkeit des Apparates störend im Wege stünde. Die Erdbebenkunde verlangt, wenn sie ein bestimmtes Phänomen nach seiner Individualität erforschen soll, Antwort auf folgende vier Fragen:

Um welche Zeit begann das Beben? Wie lange hat es gedauert?

Aus welcher Richtung kam der Stoss, resp. kamen die einzelnen Stösse?

Wie gross war die Intensität dieser Stösse?

Von diesen Fragen können unter Umständen die erste und zweite, welchen zugleich auch die grösste Wichtigkeit innewohnt, mit grosser Schärfe beantwortet werden; bezüglich der dritten lässt sich eine zutreffende Auskunft schon viel schwerer erteilen. Die Lösung der vierten Frage endlich kann stets nur eine ganz oberflächliche Schätzung liefern.

Die *chronometrischen Messungen* müssen schon deshalb, wenn sie zuverlässig sein sollen, teilweise auf *automatischem* Wege er-

folgen, weil ein Erdbeben nur in den seltensten Fällen erwartet werden kann, und weil die ungeheure Mehrzahl der Menschen bei der Plötzlichkeit des Ereignisses nicht diejenige Geistesgegenwart und Ruhe besitzt, welche dazu gehört, den Gang der Erscheinung mit der Sekundenuhr in der Hand zu verfolgen. Man bringt deshalb am besten an einem sehr genau gehenden Zeitmesser Arretierungsvorrichtungen an; die eine der beiden Uhren, welche man gewöhnlich auf Observatorien in den Dienst dieser Aufgabe stellt, wird in dem Momente zum Stillstehen gebracht, in welchem der erste Stoss erfolgte, und an der zweiten liest man den Zeitpunkt des Aufhörens direkt ab. Insbesondere *v. Lasaulx* hat eine einfache Kombination einer solchen Vorrichtung mit einem die Richtung des Stosses anzeigenden Apparate angegeben.

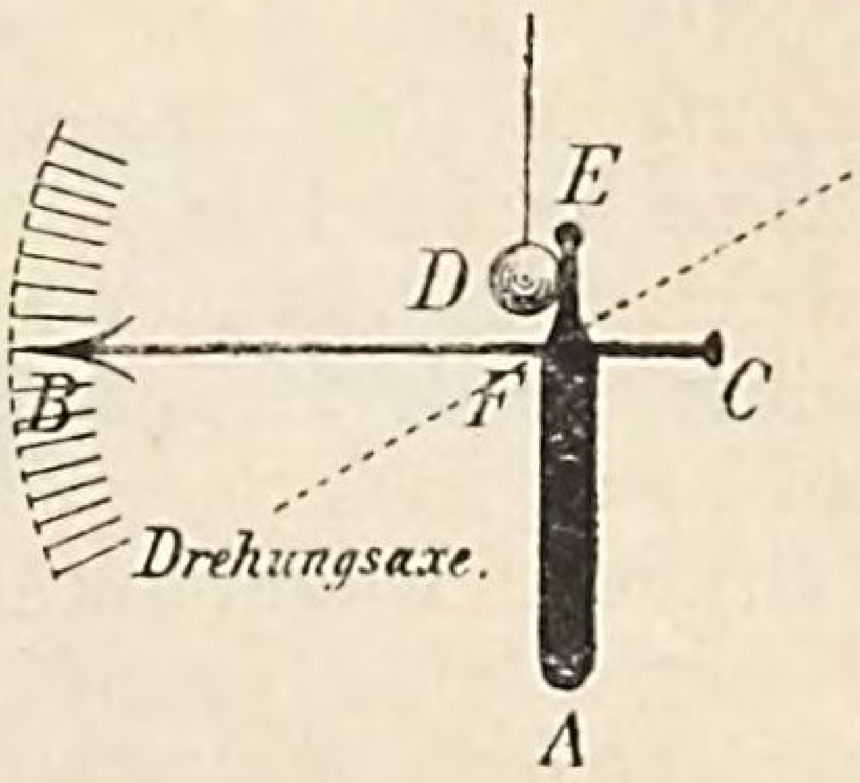
Die *Richtungs-Indikatoren* waren ursprünglich teils mit einem Schreibstifte versehene Pendel, teils sogenannte Becherapparate. *Cacciatore* ist der Erfinder dieser letzteren, deren sich *Palmieri* noch gegenwärtig auf seinem bekannten geophysikalischen Observatorium am Vesuv bedient. Eine mit Quecksilber bis zum Rande gefüllte Schale von halbkugelförmiger Gestalt ist an ihrem Rande mit einer bestimmten Anzahl von Oeffnungen versehen, welche nach den Weltgegenden orientiert werden; die Schale selbst ist so aufgestellt, dass sie sich in nahezu labilem Gleichgewichte befindet und bei einem auch nur schwachen Anstosse umkippt. Dadurch fliesst die Flüssigkeit aus, und derjenige Becher, welcher nachher die grösste Menge Quecksilber enthält, kennzeichnet die Richtung, aus welcher der Erdstoss kam. Die ausgeflossene Quantität Quecksilber aber dient dazu, schwächere oder stärkere Beben unterscheiden zu lassen.

Nahezu alle Richtungs-Indikatoren sind auch zugleich, soweit eben letzteres überhaupt thunlich ist, *Erdbebenstärkemesser*. Wir charakterisieren im folgenden kurz die Apparate, welche bei den Forschern Eingang gefunden haben. Neben *Bertelli*s *Tromoseismometer*, welches in sehr sinniger Weise das Prinzip des frei schwingenden Pendels mit einer Aufzeichnung der von dessen Spitze beschriebenen Kurven durch ein optisches Verfahren vereinigt, und neben *Mallet*s *Säulen-Apparat*, der aus dem Umfallen verschieden grosser Zylinder auf Richtung und Intensität eines Erdstosses einen ungefähren Schluss zu ziehen gestattet, scheinen besonders drei Instrumente der Erwähnung würdig zu sein.

a) *v. Lasaulx' Seismochronograph.* Auf einem schmalen, ziemlich hohen Zylinder, der durch eine Spiralfeder vertikal durchbohrt ist, ruht eine Kugel. Der leiseste Stoss bringt dieselbe zum Herabfallen, und zwar fällt sie in eine der Rinnen, welche den Holzteller, in dessen Mitte der Zylinder sich erhebt, radial unter gleichen Winkelabständen durchziehen. Gleichzeitig bringt ein an der Feder befestigter Arm das Pendel einer daneben stehenden Uhr zum Stillstande. Wie schon erwähnt, liefert die Vorrichtung gleichzeitig einen Bescheid auf unsere Fragen eins und drei, während ein Urteil über die Stärke der Erdbewegung auf diese Weise nicht zu erhalten ist.

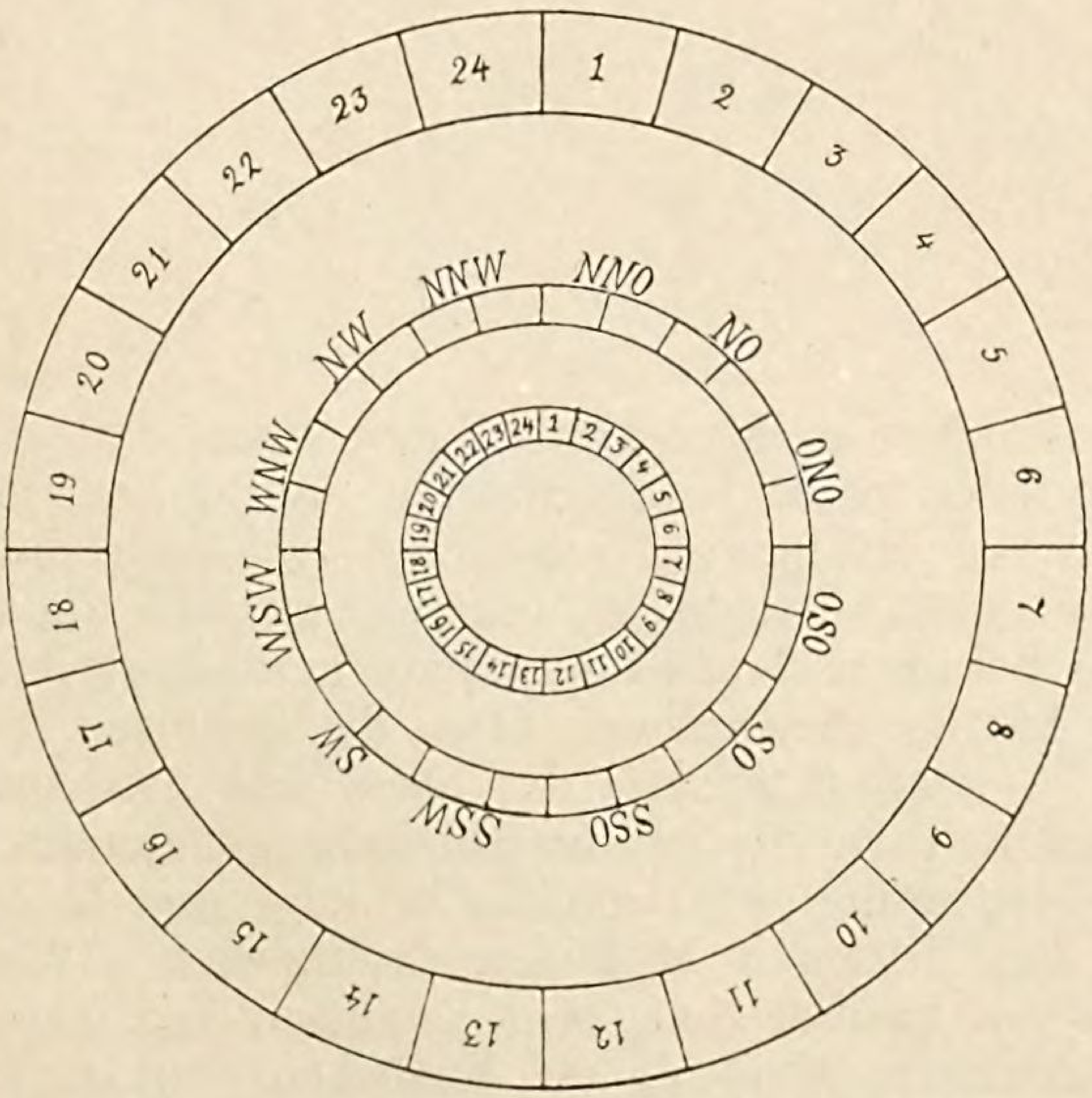
b) *G. Wagners Seismometer.* Derselbe ist in Japan vielfach erprobt worden und hat sich gut bewährt. Im Punkte F (*Fig.* 55) durchschneiden sich rechtwinklig die Hebelstangen AE und BC, von denen im Ruhezustande die erstere in vertikaler, die andere in horizontaler Lage sich befindet, während die gleichfalls horizontale Drehungsachse sowohl auf AE als auch auf BC senkrecht steht. Die Hebelarme EF und CF sind den Hebelarmen AF und BF gegenüber sehr kurz, so dass bei allfallsiger Bewegung den Punkten A und B ein namhafter Ausschlag gesichert ist. Die Kugel D ist so aufgehängt, dass sie AE zwischen E und F berührt. Sobald eine Erzitterung der Fläche eintritt, an welcher das Pendel D hängt, schlägt dasselbe gegen AE und bringt das ganze System ins Schwanken. Die Grösse der Oszillationen wird an einem Gradbogen gemessen, längs dessen sich die Spitze B der Stange BC bewegt.

Fig. 55.



c) *O. Langs Seismometer.* Das vollkommenste Instrument dieser Art hat zweifelsohne *O. Lang* konstruiert; das einzige dagegen zu erhebende Bedenken ist vielleicht das, dass es einen aufmerksameren und sachkundigeren Beobachter voraussetzt und deshalb nur an grösseren Stationen mit Vorteil Verwendung finden kann. *Fig.* 56

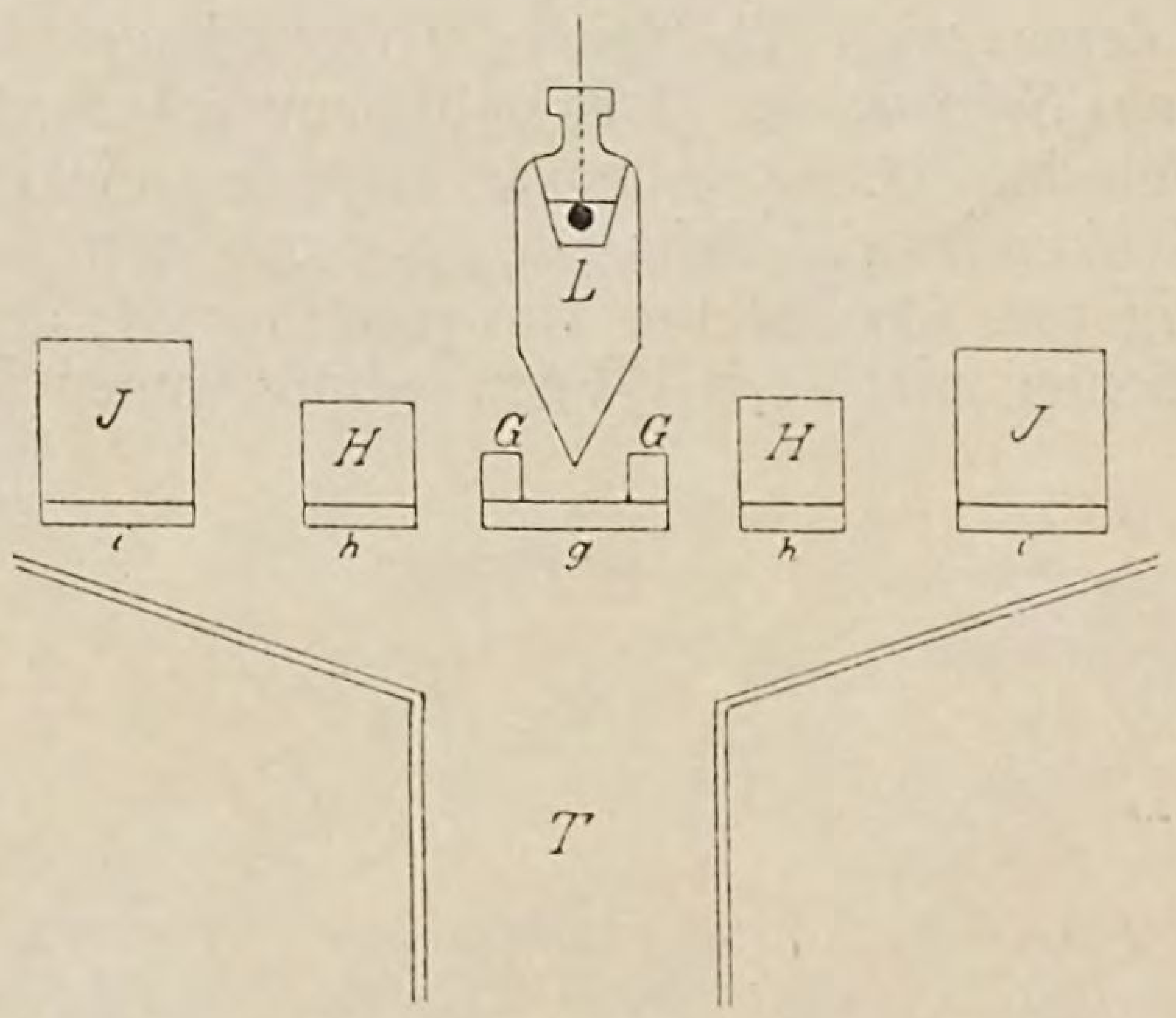
Fig. 56.



stellt es im Grundrisse dar. Die drei Kreisringe, welche den gemeinsamen Mittelpunkt umgeben, sind nicht massiv, sondern jeder setzt sich aus 24 sich gegenseitig nur lose berührenden Sektoren

zusammen; diejenigen des innersten und äussersten Ringes sind in unserer Zeichnung durch Zahlen, diejenigen des mittleren sind durch die bekannten Abkürzungen für die Namen der Himmelsgegenden charakterisiert. Ein schwerer Körper ist so aufgehängt, dass seine Spitze, was die Figur natürlich nicht zur Anschauung bringen kann, im Ruhezustande genau auf den Mittelpunkt der konzentrischen Kreise einspielt. Dies wird klar bei Betrachtung der *Fig. 57*, welche das Seismometer im Aufrisse abbildet. *L* ist der bewusste schwingende Körper; derselbe wird dadurch in Bewegung gesetzt, dass eine frei schwebende, in eine daran angebrachte Höhlung hineinreichende Kugel an dessen Wände anschlägt. Die vorgenannten Kreissektoren projizieren sich jetzt als Quadrate *G, H, J*; *G* entspricht dem innersten, *H* dem mittleren, *J* dem äussersten Ringe. *g, h, i* sind die Unterlagen dieser Ringe, welche völlig fest über der Oeffnung des Trichters *T* angebracht sind, und *G, H, J* ruhen so

Fig. 57.

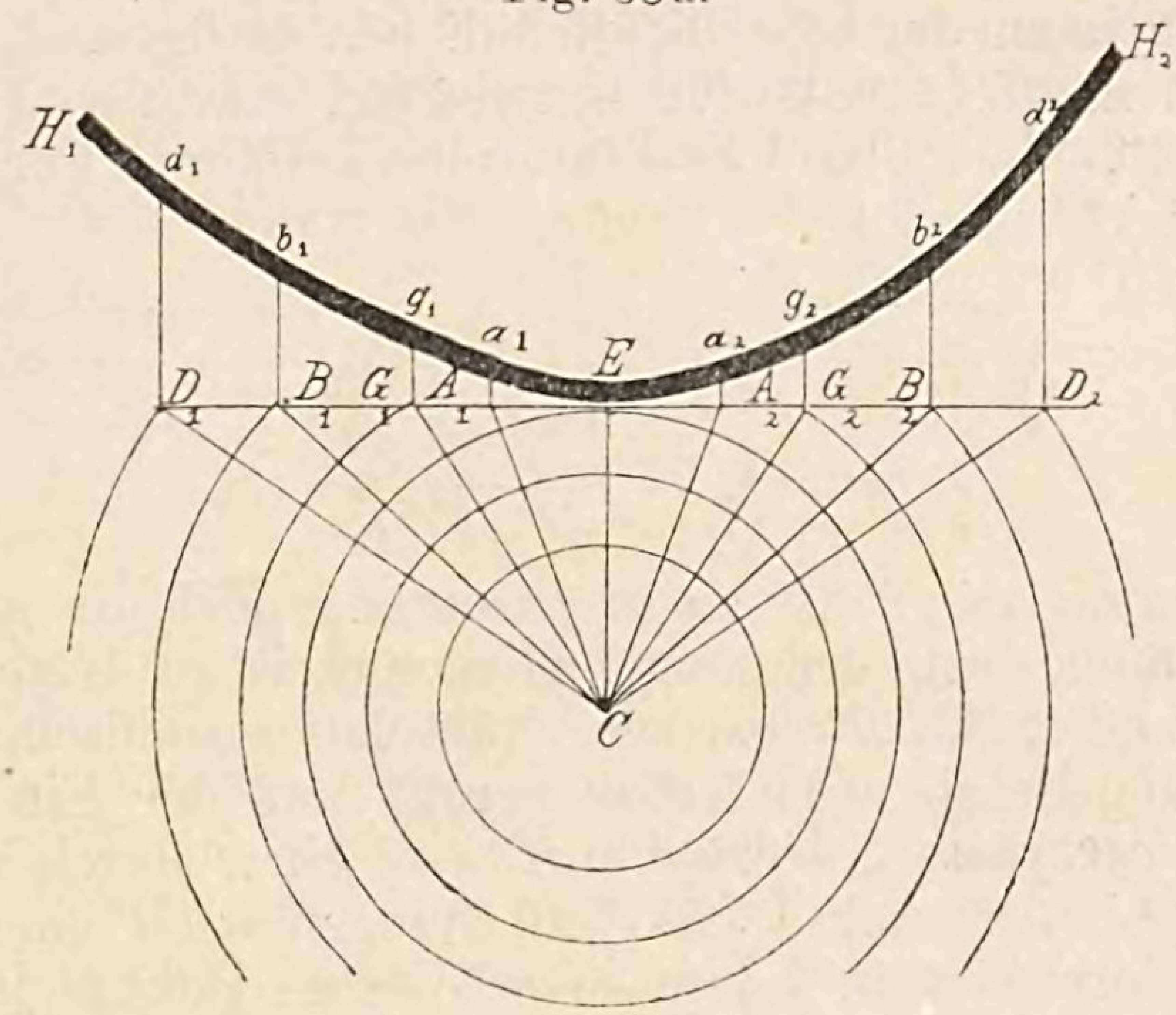


auf *g, h, i*, dass sie von ihrer Basis durch einen einigermassen heftigen Schlag oder Stoss herabgeworfen werden müssen. Denken wir uns nun, es erfolge ein schwacher Erdstoss; dann wird das Pendel *L* nur soweit ausschlagen, um zwei einander diametral gegenüberstehende Sektoren *G* des Innenringes herabzuwerfen; wenn dies bei unserer Art der Aufstellung etwa die Sektoren 1 und 13 gewesen sind, so weiss man, dass der Stoss eine nordnordöstlich-südsüdwestliche Richtung (oder umgekehrt) genommen hat. Eine stärkere Erschütterung wird auch den folgenden Ring, eine sehr starke auch den dritten in Mitleidenschaft ziehen. Wenn man den Apparat für eine gewisse Zeit, etwa für einen Tag, sich selbst überlassen hat, in dessen Verlaufe ein Erdbeben eintrat, so sieht man auf den ersten Blick, welche Sektoren fehlen, und damit ist sowohl die Stossrichtung als auch die ungefähre Stosstärke bekannt. Aus dem Trichter nimmt man die in denselben hineingefallenen Stücke wieder hervor, bringt sie in ihre ursprüngliche Lage und hat

damit das Instrument für einen neuen Beobachtungszeitraum justiert.

Quantitative Bestimmung der Elemente eines Erdbebens. Die bisher gemachten Versuche, zahlenmässig die für den Verlauf eines Erdbebens massgebenden Elemente festzulegen, gingen ausnahmslos von der Voraussetzung aus, dass der Sitz der Erscheinung ein *punktueller* sei. Nicht, als ob man geglaubt hätte, mit dieser Annahme den eigentlichen Kern der Sache zu treffen. Man weiss sehr wohl, dass Vorgänge im Inneren der Erdkruste als die Ursache der Erderschütterungen zu gelten haben, und dass diese Vorgänge oft ein ziemlich ausgedehntes Gebiet in Beschlag nehmen. Trotzdem begnügt man sich mit der sehr roh angenäherten Vorstellung, von der wir sprachen, welche von dem Analogon des

Fig. 58a.



Minensprengens hergeleitet ist; dies ist ein technischer Prozess, welcher Wirkungen hervorbringt, die mit denen eines wirklichen Erdbebens entschiedene Aehnlichkeit besitzen, und zudem müsste bei einer weniger engen Problemstellung auf die Mithilfe der Mathematik zunächst Verzicht geleistet werden. Immerhin werden wir sehen, dass die aus der unrichtigen Grundlage entspringenden Fehler einer wenigstens teilweisen Verbesserung fähig sind.

Der Punkt, von welchem die Stösse ausgehen, ist das *Zentrum*; fällt man von ihm auf die — als eben vorausgesetzte — Erdoberfläche eine Senkrechte, die *Zentraltiefe*, so ist deren Fusspunkt das sogenannte *Epizentrum*. Der nächstliegende Gedanke ist natürlich der, dass man die seismischen Impulse sich in Kugelwellen, wie sie einem homogenen Mittel entsprechen, ausbreiten lässt, wie *Fig. 58a* klar zu machen sucht. In ihr ist C das Zentrum, der gemeinsame Mittelpunkt aller der erwähnten sphärischen Wellen, E ist das Epizentrum, CE die Zentraltiefe. Gesetzt, es seien die Lage von E,

die Grösse von CE und die zunächst noch als allenthalben gleich anzunehmende *Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen im Gesteine* bekannt, so würde man für einen beliebigen Ort die Grösse des *Immersionswinkels*, d. h. desjenigen Winkels angeben können, unter welchem die Welle im fraglichen Orte die Horizontalebene trifft. A_1 und A_2, B_1 und B_2, D_1 und D_2 seien Punkte des durch das Epizentrum gehenden Horizontes, welche resp. von jenem gleiche Entfernung haben; dann ist:

$$\text{tang}\, A_1 = \text{tang}\, A_2 = \frac{CE}{A_1 E}, \quad \text{tang}\, B_1 = \text{tang}\, B_2 = \frac{CE}{B_1 E},$$

$$\text{tang}\, D_1 = \text{tang}\, D_2 = \frac{CE}{D_1 E} \dots$$

Sobald der *Zeitunterschied* bekannt ist, welcher zwischen dem Einsetzen des Erdbebens im Epizentrum und an irgendwelchem anderem Orte liegt, so kann derselbe die räumlichen Grössen $A_1 E$, $B_1 E \dots$ ersetzen; hat nämlich dieser Zeitunterschied etwa für A_1, B_1, $D_1 \dots$ die Werte t', t'', $t''' \dots$, so ist, wenn γ die erwähnte Fortpflanzungsgeschwindigkeit bedeutet,

$$A_1 E = \sqrt{t'^2 \gamma^2 - \overline{CE}^2}, \quad B_1 E = \sqrt{t''^2 \gamma^2 - \overline{CE}^2},$$

$$D_1 E = \sqrt{t'''^2 \gamma^2 - \overline{CE}^2} \dots$$

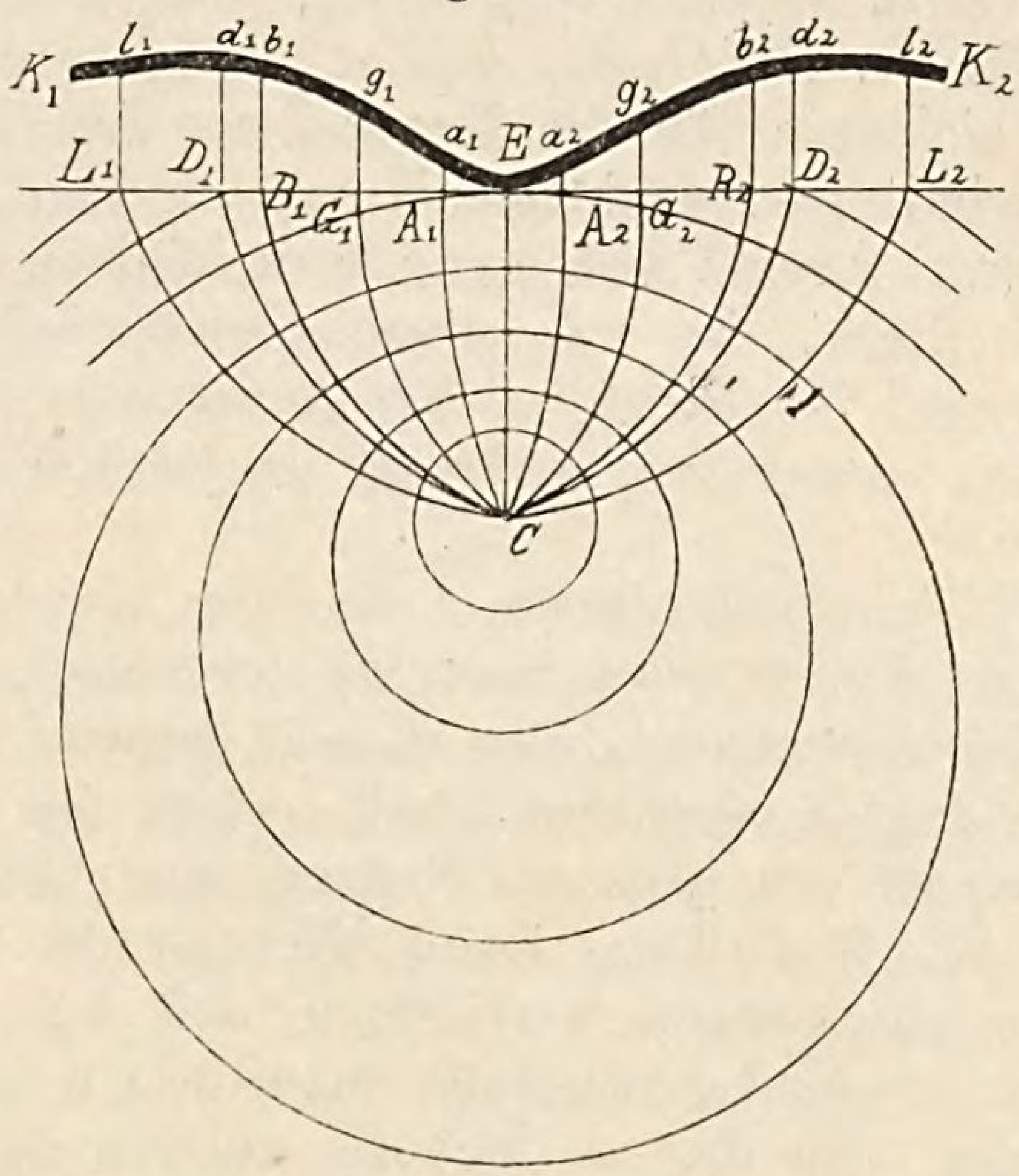
Um die Rechnung möglichst zu ersparen und doch die grösste unter solchen Umständen zu erhaltende Genauigkeit zu erlangen, haben *Minnigerode* und *v. Seebach* ein sehr hübsches graphisches Verfahren in Vorschlag gebracht. Dasselbe beruht auf der Einführung des *Erdbeben-Hodographen* [1]). Trägt man auf einer durch E gehenden horizontalen Abszissenachse die Entfernungen nach einem gewissen Masstabe ab, errichtet in jedem so erhaltenen Punkte je eine Senkrechte und macht dieselben ihrer Länge nach proportional den vorgenannten Zeitunterschieden, so ist, wie die Rechnung darthut, die durch die Endpunkte der Senkrechten hindurch gelegte Linie, der Hodograph, eine *Hyperbel*, welche die Abszissenachse in E berührt und die Linie CE zur grossen Achse hat. Handelt es sich also darum, ein Erdbeben näher zu untersuchen, über dessen Verlauf man eine Anzahl von *Korrespondenzbeobachtungen* eingesammelt hat, so verfährt man, wie folgt. Man sucht denjenigen Ort, an welchem der Erdstoss am frühesten wahrgenommen ward, und identifiziert ihn mit dem Epizentrum [2]); dasselbe wird in ein Koordinatennetz

[1]) Als Hodograph wird im allgemeinen in der Mechanik jede Kurve bezeichnet, durch welche die Beziehungen zwischen einer konstanten und einer veränderlichen Grösse, wie z. B. zwischen Zeit und Geschwindigkeit, versinnlicht werden können.

[2]) Einigermassen sicherer ist die Ermittlung des Epizentrums mittelst der *seismischen Kurvensysteme*. Abgesehen von der *Pleistoseiste*, welche die Orte besonders heftigen Auftretens des Erdstosses, und abgesehen von der *Isoseiste*,

eingetragen, und es werden dann die Punkte A_1, B_1, D_1 gleichfalls markiert, von denen man eine Mitteilung erhalten hat. In den so erhaltenen Punkten werden die Perpendikel $A_1 a_1$, $B_1 b_1$, $D_1 d_1$ errichtet, und durch die Punkte $a_1, b_1, d_1 \ldots$, welchen auf der anderen Seite die symmetrisch gelegenen Punkte $a_2, b_2, d_2 \ldots$ entsprechen müssen, geht nunmehr die Hyperbel $H_1 H_2$ hindurch. Unter dem rein geometrischen Gesichtspunkte würden, wenn der Scheitel und die Achsenrichtung gegeben ist, zwei weitere Punkte hinreichen, um die Kurve einzuzeichnen; in Wirklichkeit aber wird, da eben die Voraussetzungen keine ganz zutreffenden waren, eine grössere Anzahl von Fixpunkten notwendig sein, um die Hyperbel mit leidlicher Genauigkeit zu erhalten. Ist letzteres geschehen, so kann man die von einem neu hinzukommenden Orte G_1 (resp. G_2) gemeldeten

Fig. 58 b.



Nachrichten auf ihre Zuverlässigkeit prüfen. Man misst nämlich nach, ob die von dort mitgeteilte Zeitdifferenz der Ordinate $G_1 g_1$ (resp. $G_2 g_2$) so entspricht, wie es die Theorie erheischt.

Leider ist die hyperbolische Theorie so wenig richtig, dass die auf grund derselben erzielten Bestimmungen kaum die Bedeutung einer ersten Annäherung beanspruchen können. Die erste Verbesserung der leitenden Ideen hat *A. Schmidt* nach Massgabe von *Fig. 58 b* gegeben, deren Buchstaben, soweit möglich, ganz den

welche die Orte gleich starken Auftretens miteinander verbindet, sind besonders die *Homoseisten* wichtig, die geometrischen Oerter aller jener Punkte, in denen die Erscheinung sich im nämlichen Zeitpunkte offenbarte. Wäre das Gestein, innerhalb dessen die Wellen fortschreiten, wirklich isotrop, so müssten die Homoseisten konzentrische Kreise sein, und ihr gemeinschaftlicher Mittelpunkt wäre das Epizentrum. So verhält es sich in der Praxis nun freilich nicht; trotzdem aber lässt man die Kurven, welche man zunächst konstruiert, als Kreise gelten und sucht zu ihnen den Mittelpunkt nach der bekannten, von der Elementargeometrie gegebenen Vorschrift.

gleichen Sinn haben, wie diejenigen von *Fig. 58a.* Die gradlinige Fortpflanzung der Impulse ist nicht möglich, weil die Wellen im Inneren der Erde unaufhörlichen Brechungen ausgesetzt sind; dasjenige also, was früher die von einunddemselben Zentrum ausgehenden Erdbebenstrahlen waren, sind jetzt gebogene Linien, die allerdings sämtlich im Erdbebenzentrum zusammenlaufen und gegen die Abszissenachse konkav verlaufen. An die Stelle der früheren konzentrischen Kugeln tritt ein System von Kugelflächen, deren Mittelpunkte sämtlich auf der Graden CE liegen. Führt man die hier nur angedeuteten Betrachtungen durch, so gelangt man mit *Schmidt* zu folgendem Satze: *Der seismische Hodograph ist keine Hyperbel, sondern eine konchoidische Kurve, deren Symmetrieachse die Zentraltiefe ist, und welche in nicht allzu grosser Entfernung von dieser je einen Wendepunkt besitzt.* In *Fig. 58b* liegt dieser Wendepunkt bei D_1 und D_2, so dass also, wenn $EL_1 > ED_1$, $EL_2 > ED_2$ angenommen wird, andererseits $L_1 l_1 < D_1 d_1$, $L_2 l_2 < D_2 d_2$ werden muss. Des ferneren ergibt sich ein für die Beurteilung der Geschwindigkeits- und Intensitätsverhältnisse wichtiges Korollar: Das erschütterte Gebiet zerfällt in zwei Areale von ganz verschiedenem Verhalten; für den Innenbezirk nimmt die scheinbare Geschwindigkeit vom Epizentrum aus ab, und im Bereiche der Aussenzone wächst die Geschwindigkeit nach aussen zu, während zugleich die Intensität mehr und mehr abnimmt.

Es handelt sich noch darum, die hier beschriebene Methode derart auszubilden, dass bequem nach ihr gerechnet, beziehungsweise ein handliches Zeichnungsverfahren darauf begründet werden kann. Alsdann wird sie den in verschiedenen Ländern ins Leben gerufenen *Erdbebenkommissionen* von grossem Nutzen sein; denselben liegt die Pflicht ob, über alle Erdbeben, deren Epizentrum in ihrem Gebiete liegt, oder deren Zuckungen wenigstens sich bis in dasselbe fortsetzen, Korrespondenzbeobachtungen einzufordern und wissenschaftlich zu verarbeiten. Zu diesem Behufe werden in erster Linie die schon bestehenden meteorologischen Stationen herangezogen, aber auch Privatleute und namentlich die Beamten des Eisenbahndienstes sucht man für die Mitwirkung zu gewinnen, weil die von denselben gelieferten Angaben sich des grossen Vorteiles der Einheitlichkeit und unmittelbaren Vergleichbarkeit zu erfreuen haben. Von deutschen resp. deutsch sprechenden Ländern haben sich vorab Baden (*Eck*), Württemberg (*Hammer* und *Schmidt*) und die Schweiz (*Heim*) um die Begründung solcher Zentralstellen verdient gemacht. Seitdem es solche gibt, hat man auch erfahren, dass die Häufigkeit von Erdbeben eine über die gewöhnlichen Vermutungen bei weitem hinausgehende ist; in dem einzigen Jahre 1881 hatte die schweizerische Kommission 166 Stösse, worunter 18 kräftigere, zu verzeichnen.

Einige Notizen mögen noch folgen über den numerischen Wert unserer obigen Grösse γ. Für gewisse mitteldeutsche Erdbeben ermittelte *v. Seebach* eine durchschnittliche (Sekunden-) Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 500 bis 800 m. Sehr genau sind diese

den Korrespondenznachrichten entnommenen Zahlen nicht; etwas genauer möchten die von französischen Geologen, *Naguès* an der Spitze, durch das Experiment eruierten Zahlen sein. Im Granit und Trachyt scheint ein Stossimpuls sich in der Sekunde durch 1400 bis 1500 m hindurch fortzusetzen, während im Schiefergebirge bloss 700 bis 800 m zurückgelegt werden. Einen sehr merkwürdigen Beleg für die Gewalt eines Erdbebens hat unlängst *Marcuses* Beobachtung dargeboten, der am 11. Juli 1889 an der Blase seiner Wasserwage Schwankungen vornahm, welche durch ein an diesem Tage in Turkestan stattgehabtes Beben ausgelöst worden waren; 26 Minuten hatte die Bewegung gebraucht, um von Wernoje (bei Taschkent) bis zur Berliner Sternwarte zu gelangen. In diesem Falle ist also zweifellos der *Erschütterungskreis*, d. h. der diesen Namen allerdings gemeiniglich nur uneigentlich verdienende Teil der Erdoberfläche, von sehr bedeutender Grösse. Man hat den Flächeninhalt dieses Schütterkreises für einige neuere und bekannte Erdbeben berechnet; so sind nach *Hollmann* bei dem (S. 158) angeführten furchtbaren Erdstosse, welcher Lissabon vernichtete, 79200 Quadratmeilen betroffen worden[1]. Indessen muss man sich immer hüten, sofort jede Störung des Gleichgewichtes, für welche man nicht sofort eine Ursache zu entdecken imstande ist, für die Wirkung eines womöglich überaus weit entfernten Erdbebens zu erklären, denn es hat sich in neuerer Zeit gefunden, dass nach dieser Seite hin schon zum öfteren Fehlschlüsse gemacht worden sind[2]. Am grössten erweist sich der erschütterte Bezirk meist dann, wenn das Epizentrum in der Nähe eines grossen Meeresbeckens gelegen ist; dies führt uns dazu, das Verhalten der seismischen Erscheinungen zum Meere überhaupt einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Erdbebenfluten und Seebeben. Die Notwendigkeit, diejenigen Aufwallungen des Meeres, welche eine Folge terrestrischer Erderschütterungen sind, scharf und grundsätzlich von denjenigen zu trennen, bei denen das Epizentrum der Wasserfläche selbst angehört, ist von *Rudolph* in dessen inhaltsreicher Monographie über seismisch-ozeanische Erscheinungen mit Recht betont worden. Im ersteren Falle hat man es mit einer *Erdbebenflut* zu thun, indem meist bei Beginn des Bebens das Wasser weit von seinen normalen Grenzen zurückweicht, um alsdann mit gewaltiger Kraftentfaltung

[1]) Das Ausbleiben des Thermalbrunnens von Teplitz und das von glaubwürdigen Gelehrten Tirols bezeugte, ganz ungewöhnliche Aufschäumen des Hechtsees bei Kufstein am Tage des Lissaboner Erdbebens darf wohl mit diesem in ursächliche Verbindung gebracht werden. *Pontoppidan*, freilich nicht gerade ein klassischer Zeuge, berichtet auch, dass an eben diesem Tage Flammen aus dem heftig erregten Meere an der Küste von Thelemarken (Norwegen) aufgestiegen seien.

[2]) Gewisse Fluterscheinungen in der Ostsee und auf norddeutschen Binnenseen, welche man auf Erdbeben zurückzuführen gedachte, scheinen neueren, in Abschnitt XIII zu besprechenden Aufschlüssen zufolge lediglich mit akuten Veränderungen des meteorologischen Gesamtzustandes zusammenzuhängen.

zurückzukehren und weite Strecken des Festlandes zu verheeren. An Küsten, welche oft durch derartige Naturereignisse heimgesucht werden, wie insbesondere an der peruanisch-chilenischen, fürchtet man diese furchtbaren Schwankungen des flüssigen Elementes mehr noch, als den Stoss selbst. Die grossartigsten morphologischen Effekte haben Erdbebenfluten am Indischen Ozeane und dessen Nebenmeeren hervorgebracht; wir denken dabei an das *mesopotamische Erdbeben* der grauen Vorzeit[1]), an die *Versenkung ausgedehnter Landstriche nahe der Indusmündung*[2]) und an die schon besprochene *Katastrophe von Krakatau.* Bei dieser letzteren sollen die tiefer gelegenen Teile der vom Epizentrum (eben der Insel Krakatau) doch ziemlich weit entfernten Stadt Batavia durch eine Flutwoge überschwemmt worden sein, welche sich in der Form einer angeblich bis zu 30 m Höhe ansteigenden Mauer heranwälzte. Der ungeheure Verlust an Menschenleben, welchen die Zerstörung der Vulkaninsel zur Folge hatte, ist fast ausschliesslich der nachfolgenden Erdbebenflut zuzuschreiben.

Im Wasser, als in einem nach allen Seiten hin gleiche Bedingungen der Durchlässigkeit darbietenden Mittel, pflanzen sich die seismischen Impulse sehr regelmässig fort, und wenn man die Homoseisten verzeichnet, so tritt deren kreisförmige Natur weit deutlicher hervor, als auf dem Festlande. Wäre das Meer, welches den Träger der Fortleitung bildet, von gleichmässiger Tiefe ($=h$), so würde man, unter g die Schwerkraftskonstante (S. 23), unter d die Höhe der seismischen Wellen verstanden, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v nach der von *Verbeek* aufgestellten Formel

$$v = \sqrt{\frac{g}{2h}} \cdot \sqrt{(h+d)\,(2h+d)}$$

zu berechnen vermögen; dieselbe lässt sich, da d gegen h resp. gegen $2h$ wenig ins Gewicht fällt, durch $v = \sqrt{gh}$ ersetzen, und wenn also umgekehrt die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Wellen bekannt ist, kann man die Meerestiefe durch den Ausdruck $h = \frac{v^2}{g}$ berechnen können. Bei dem Krakatau-Erdbeben besass die seismische Flutwoge Energie genug, um den ganzen Erd-

[1]) Dieses Erdbeben wird von *E. Suess* mit der noachischen, d. h. mit derjenigen Sintflut identifiziert, welche in dem Izdubar-Epos, einem der ältesten assyrischen Schriftdenkmäler, mit grösster Naturwahrheit geschildert wird. Drei Umstände scheinen sich damals — um 4000 v. Chr. — verbunden zu haben, um eine furchtbare Katastrophe herbeizuführen. Das Schwemmland Mesopotamiens war weithin von Wasser infiltriert, und als ein starker Erdstoss in Verbindung mit einem vom Persischen Golfe hereinwehenden Wirbelsturme das lockere Gefüge des Bodens vollends zerriss, öffneten sich, wie es die Bibel besagt, gleichzeitig die Schleussen des Himmels und der Erde, d. h. es stürzten Wolkenbrüche herab, und aus den Spalten des im eindringenden Meere versinkenden Alluvialbodens sprudelte das Grundwasser hervor.

[2]) *Burnes* und *Lyell* haben die Umstände näher erforscht, unter welchen 1819 der sogenannte *Ran of Cacch* bis hin zu der als „Gottesdamm" bezeichneten Terrainerhebung in den Fluten unterging.

ball mehrmals zu umkreisen und sich selbst den in der Antipodengegend gelegenen Uferorten bemerklich zu machen.

Ungleich weniger grossartig pflegen die Folgen zu sein, wenn es sich um ein *Seebeben* oder *submarines Erdbeben* im engeren Sinne handelt. Aus zahlreichen durch *Rudolph* gemachten Auszügen aus Schiffsjournalen geht hervor, dass zwar das von einem solchen Beben betroffene Schiff die Erschütterung deutlich genug verspürt, dass aber der Einfluss des Stosses auf die umgebenden Wassermassen ein ganz oder doch fast ganz verschwindender ist. Das Schiff selbst wird in die Höhe gehoben oder doch in seinem Laufe aufgehalten, so dass die Mannschaft wohl zunächst auf die Meinung verfällt, man sei aufgefahren, während auf der Meeresoberfläche nur leise Kräuselungen verraten, dass sich etwas ungewöhnliches zugetragen habe. Vergleichsweise selten wissen die Schiffer auch von einer dritten Erscheinungsform zu erzählen. Es gewinnt nämlich den Anschein, als ob die See rund um das Fahrzeug her koche und siede, das Wasser zischt, und isolierte Strahlen von nicht unbedeutender Höhe springen an verschiedenen Stellen auf. Der Schütterkreis solcher Seebeben ist oft ein viel grösserer, als man nach den verhältnismässig unerheblichen örtlichen Manifestationen vermuten möchte; so pflanzte sich dasjenige, welches am 22. Dezember 1884 das Meer zwischen Madeira und den Azoren erschütterte, in der einen Richtung 545 Seemeilen fort, in der dazu senkrechten allerdings viel weniger weit. Wahrscheinlich rühren die submarinen Erdstösse mitunter von vulkanischen Eruptionen her, welche auf dem Meeresgrunde stattfinden; vielleicht ist die Kraft derselben nicht gross genug, um Dampf- und Aschenmassen bis über den Wasserspiegel hinaus zu befördern oder auch nur einen namhaften Wellenberg aufzutürmen, aber das Thermometer zeigt in solchen Fällen gleichwohl an, dass der Stoss, welchen man bemerkt hatte, einen vulkanischen Charakter an sich getragen habe.

Erdbebentheorien. Ein in die Geschicke des Menschen so tief eingreifendes Phänomen, wie das Erdbeben, musste frühzeitig schon zu Erklärungsversuchen anregen. Von allen phantastischen Träumereien, an denen es auf diesem Gebiete am wenigsten gefehlt hat, sehen wir gänzlich ab und vermerken nur diejenigen Bestrebungen, welche sich auf naturwissenschaftlichem Boden bewegten. Für fast das ganze Altertum und jedenfalls für das gesamte Mittelalter gab die von *Aristoteles* entwickelte Lehre den Ton an: *Luft hat sich in der an Höhlungen reichen Erdrinde verfangen, kann den Ausweg nicht mehr finden und rüttelt nun an den Grundfesten der Erde.* Der einzige *Straton* unter den Griechen, ein Mann, dessen Spekulationen über Fragen der dynamischen Geologie, insoweit wir von denselben noch Kenntnis haben, einen tiefen und ernsten Denker bekunden, begnügte sich mit dieser bequemen Vorstellung nicht, sondern wies darauf hin, dass die grossen Wärmeunterschiede, welche ohne Zweifel im Inneren der Erde obwalteten, beim Zustandekommen von Erderschütterungen eine Rolle spielen müssten. *Seneca* hat

dann diese beiden Ansichten miteinander zu versöhnen versucht; allerdings nahm er mit *Aristoteles* einen aërodynamischen Ursprung der Erdbeben an, allein der *„flatus"* oder *„spiritus"*, auf welchen er sich beruft, ist kein gewöhnlicher Wind, sondern er versteht darunter, wie seine Schilderung darthut, hochgespannte Gase oder Dämpfe. Diese korrektere Auffassung ging jedoch später wieder verloren, und man verblieb allgemein bei der Theorie des Stagiriten, die Erdbeben für unterirdische Stürme zu halten; nur gelegentlich äussern einzelne Autoren, wie *Beda Venerabilis*, es dürften wohl auch Einstürze im Gezimmer der Erde ein Erzittern des Erdbodens bewirken. Auch griff man wohl auf eine noch ältere Hypothese zurück, deren Anfänge bereits bei dem Jonier *Anaximander* nachzuweisen sind: die ganze Erdkugel dachte man sich als eine von unzähligen Wasseradern durchzogenen Körper, als eine Art von Schwamm, und wenn aus irgend einem Grunde die Wassermenge in diesen Kanälen eine ungewöhnliche Vermehrung oder Verminderung erfuhr, so ergaben sich Bewegungen darin, welche ein Schwanken der Erdoberfläche nach sich zogen. Noch im Jahre 1756 suchte *Hollmann* im Sinne dieser einzelnen Scholastikern geläufig gewesenen Anschauung das Erdbeben von Lissabon zu erklären. Wie beim Vulkanismus (S. 153), so förderte auch auf diesem Nachbargebiete der rasche Fortschritt der Elektrizitätslehre manche zum Teile sehr abenteuerliche Hypothesen zu Tage, die mit dem elektrischen oder magnetischen Fluidum operierten. Noch neuerdings hat *Janeček* der allerdings nicht ohne weiteres zu verwerfenden Ansicht Raum gegeben, dass manche chemische Verbindungen in grösserer Tiefe nur in der Form mechanischer Gemenge, ähnlich unserer atmosphärischen Luft, vorkommen könnten, und dass, wenn ein solches Gemenge sich entzünde, ein ruckweises Verbrennen desselben mit explosiven Stössen eintreten müsse. Auch das bekannte *Leidenfrostsche Phänomen* hat *Carl* in diesem Sinne für die Auslösung von Erdbeben zu verwerten gesucht, und wenn unsere früher (S. 156) aufgestellte vulkanistische Theorie auf Wahrheit beruht, dann ist auch dieser Erklärungsversuch von *Carl* einer höheren Beachtung wert, als sie ihm bisher zu teil geworden ist [1]). Möglicherweise braucht das Magma dabei gar nicht in Frage zu kommen; es reicht hin, dass einträufelndes Oberflächenwasser mit stark erhitzten Quellen in tieferen Erdschichten in Berührung tritt [2]).

Die neuere Geophysik unterscheidet drei *ihrem Wesen nach verschiedene Arten von Erdbeben*, mit deren Natur wir uns nun-

[1]) Wenn Wasser in kleinen Mengen mit einer stark erhitzten Fläche in Berührung kommt, so tritt nicht sofort Verdampfung ein, sondern die im *sphäroidalen Zustande* befindlichen Wassertropfen werden durch eine rasch gebildete Dampfschicht förmlich getragen, und erst wenn eine gewisse Abkühlung eingetreten ist, tritt eine jähe, explosive Verwandlung des Wassers in Dämpfe ein.

[2]) Im obigen Sinne erklärt *G. vom Rath* die Katastrophe von Casamicciola (S. 162), und in der That findet diese Deutung eine Bekräftigung darin, dass auf Ischia Thermen von sehr hohen Temperaturgraden keine Seltenheit sind.

mehr bekannt zu machen haben. Es dürfte kein Erdbeben sich ereignen, welches sich nicht einer dieser drei zu bildenden Kategorien einreihen liesse, wenn auch freilich im Einzelfalle die Entscheidung darüber, in welche ein bestimmtes Vorkommnis gehört, nicht immer leicht zu treffen ist.

a) *Vulkanische Erdbeben.* Dass Vulkanausbrüche fast immer von meist heftigen Erschütterungen des umliegenden Gebietes begleitet sind, ist bekannt (S. 142), und so werden dann ganz von selbst viele Erdbeben einfach als vulkanische zu bezeichnen sein. Es braucht nicht bis zur Ejektion von Asche und Lava selbst zu kommen, vielmehr sind in vulkanischen Ländern Erdbeben auch dann an der Tagesordnung, wenn die eigentlich vulkanische Thätigkeit ruht. Die *Humboldt-Buch*sche Schule nahm diesen Umstand zur Grundlage ihrer des gesunden Kernes nicht entbehrenden, in dieser Form jedoch viel zu weit gehenden Behauptung, *dass die Vulkane Sicherheitsventile seien*; das unterirdische Glutmeer dränge so lange, die darüber ruhende Decke heftig erschütternd, nach oben, bis es sich einen Ausgang gebahnt habe. Als eine diesen Gedanken bis zur äussersten Spitze treibende Ausbildung der Ventiltheorie hat die bekannte *Perrey-Falb*sche Hypothese zu gelten, welche bloss vulkanische Erdbeben zulassen und von anderen Möglichkeiten nichts wissen will, eine mit starkem Applomb auftretende Hypothese, die ihre wesentliche Stütze in einer oftmals ungeheuerlich gezwungenen Statistik der vulkanischen und seismischen Erscheinungen sucht[1]). Aber auch die auf eine bloss lokale Explosion zurückzuführenden Erdstösse sind Unterarten der ersten Abteilung.

b) *Tektonische Erdbeben.* Der Vergleich des Felsbaues der Erde mit einem von Menschenhänden aufgeführten Bauwerk (*tectum*) rührt von *Seneca* her; heutzutage nennen wir *tektonische Störungen* jede Veränderung im internen Gleichgewichte der Erdrinde, *welche durch die fortschreitende Kontraktion und Volumverminderung des Erdsphäroides* (S. 121 ff.) *bedingt erscheint.* Hier herrschen, wie man weiss, Spannungen aller Art, welche bald in der einen, bald in der anderen Weise einen momentanen Ausgleich finden, und jeder solche Ausgleich wird in einer oszillatorischen Bewegung der oberflächlichen Schichten sich dokumentieren. Dieselben Vorgänge also, welche im mesozoischen und tertiären Alter eine Gebirgsfaltung zur Folge hatten, wirken noch in der Jetztzeit fort, aber ihre Energie ist geringer geworden und spricht sich nur noch in den tektonischen Erdbeben aus. In nichtvulkanischen Gebirgen, wie z. B. in unseren

[1]) Wenn die innere Höhlung der Erde wirklich von einer homogenen Glutmasse erfüllt wäre, dann könnten für eine solche allerdings gewisse Ebbe- und Fluterscheinungen, hervorgerufen durch die Attraktion von Sonne und Mond, zugegeben werden, obwohl selbst dann eine Erdbebenprognose, die Ansetzung „kritischer Tage“ u. s. w., von keinem objektiven Forscher für möglich und durchführbar zu halten wäre. Wir haben jedoch zum Ueberflusse oben (S. 60) gehört, dass mit einer kausal befriedigenderen Vorstellung von der Zusammensetzung des Erdballes das ungeheure Magma-Meer schlechterdings unverträglich ist.

Alpen, gibt es aller Wahrscheinlichkeit nach vorwiegend Erdbeben dieser Art. Sie haben weit mehr als die analogen vulkanischen Erscheinungen die Eigentümlichkeit, dass der Stoss in einer graden Linie sich fortpflanzt (*Longitudinalbeben*), und da diese Linie sich mehrenteils als ein auch durch andere geologische Kennzeichen angedeuteter alter Bruchrand zu erkennen gibt, so kann man die Stosslinien mit einiger Wahrscheinlichkeit a priori festlegen, wie dies durch *E. Höfer* in mustergiltiger Weise für das Kronland Kärnthen und die angrenzenden Teile von Steiermark geschehen ist. Namentlich da, wo sich die uns von früher her (S. 119) bekannten Blätter gebildet haben, treten Erdstösse (*Blattbeben*) gerne ein, indem das eine Blatt sich an dem anderen hinschiebt. Auf eine sehr merkwürdige Gattung von Bodenschwankungen ist man durch *v. Fritsch*s Beobachtungen in Stassfurt aufmerksam geworden. Die sehr regelmässigen, den Erdbebenschwärmen zuzurechnenden Bewegungen nämlich, welche man in dieser Stadt und, allerdings in viel geringerem Masse, auch in den unter ihrem Territorium gelegenen Salzbergwerken zu fühlen gewohnt ist, erwecken den Eindruck, als sei eine gewaltige Anhydridplatte einseitig unterstützt und vollziehe Schaukelbewegungen um diesen Drehpunkt.

c) *Einsturzerdbeben.* Dass die Decke unterirdischer Hohlräume einstürzen, und dass dieser Einsturz die benachbarten Partien der Erdrinde in Schwingungen versetzen kann, begreift sich leicht, und durch Beobachtungen an den Dolinen des Karstes (s. u.) ist die Thatsache, dass das eine das andere nach sich zieht, auch direkt erhärtet worden. Besonders dann, wenn subterrane Gips- oder Salzlager durch eingedrungenes Wasser ausgelaugt und fortgeschafft worden sind, ist eine sehr günstige Gelegenheit für die Auslösung solcher Erderschütterungen geboten. Die jung-neptunistische Richtung (S. 154) hatte, wenn sie ihre Erdbebentheorie auch viel zu einseitig mit solchen Ereignissen in Verbindung brachte, ganz recht, die schon von *Beda* (s. o.) angedeutete, von *Necker* in ein modernes Gewand gekleidete Einsturzhypothese schärfer zu akzentuieren. Dass die periodischen Beben im Kanton Wallis vielfach, wenn schon gewiss nicht ausschliesslich, das Ergebnis intrakrustaler Zusammenbrüche sind, kann man *Volger* unbedenklich zugeben; auch den merkwürdigen, weil in der Geschichte der Gegend ganz isoliert dastehenden Erdstoss, welchen man am 22. Februar 1889 zu Neuburg a. D. verspürte, ist *v. Gümbel* geneigt, in diesem Sinne zu interpretieren[1]). — Manchmal wird ein Einsturzbeben übrigens mit

[1]) Bei dem genannten Städtchen greift die im allgemeinen für den Norden des gegenwärtigen Laufes der Donau massgebende Juraformation auf das südliche Ufer dieses Stromes über und hebt sich mit einem mächtigen Vorgebirge, auf welchem sich das alte Schloss der Neuburger Pfalzgrafen befindet, von dem Miozän der schwäbisch-bayerischen Hochebene ab. In dem „Frankendolomit", dem das betreffende Gestein hauptsächlich angehört, finden sich, wie dies jedem Besucher der „Fränkischen Schweiz" bekannt ist, zahlreiche Höhlen, und es liegen deshalb die Bedingungen für ein Einsturzbeben vor. Dafür, dass ein solches in frage kommt, scheint uns auch der Umstand zu sprechen, dass

ganz dem gleichen Rechte, wie *Reyer* bemerkt, als ein tektonisches Beben zu definieren sein: dann nämlich, wenn die Schrumpfung der Erdrinde es bewirkt, dass Gesteinsmassen, welche dem Hangenden (S. 68) angehören, ihren Halt verlieren und auf das Liegende herabfallen. —

Das Studium der Erdbebenerscheinungen hat lange Zeit unter der irrigen Annahme gelitten, dass alle hier einzubeziehenden Vorkommnisse unter allen Umständen auf einunddieselbe Grundursache zurückgeführt werden müssten. Gerade bei dieser Frage aber sollte es klar werden, dass die Natur in ihrer Vielseitigkeit dieselben Effekte mit sehr verschiedenen Mitteln zu erreichen vermag, und dass hier das Schablonisieren zu noch schlimmeren Täuschungen führt, als auf anderen Gebieten der physikalischen Erdkunde.

IX. Das magnetische und elektrische Verhalten der Erde.

Gesteinsmagnetismus und Erdmagnetismus. Wenn man die magnetischen Eigenschaften des Erdkörpers — von der *Luft* vorläufig noch vollständig abgesehen — untersuchen will, so hat man zwei sehr voneinander verschiedene Erscheinungen zu beachten, welche bisjetzt noch immer nicht mit hinlänglicher Strenge aus einander gehalten werden. Allerorts, wohin man auf der Erde kommt, begegnet man isolierten Felsen und kompakten Gesteinsmassen, Bergen und Gebirgen, welche mit *natürlichem Magnetismus* begabt sind. Dieser sogenannte *Gesteinsmagnetismus* kann sich selbst wieder auf doppelte Weise äussern, nämlich *attraktiv*, wenn das Gestein anziehend auf in seine Nähe gebrachte eiserne Gegenstände wirkt, und *polar*, indem dasselbe die Magnetnadel aus jener Richtung ablenkt, welche sie, wenn der störende Körper nicht vorhanden wäre, einnehmen würde. Nur dieser polare Gesteinsmagnetismus kann für uns an dieser Stelle ein höheres Interesse beanspruchen.

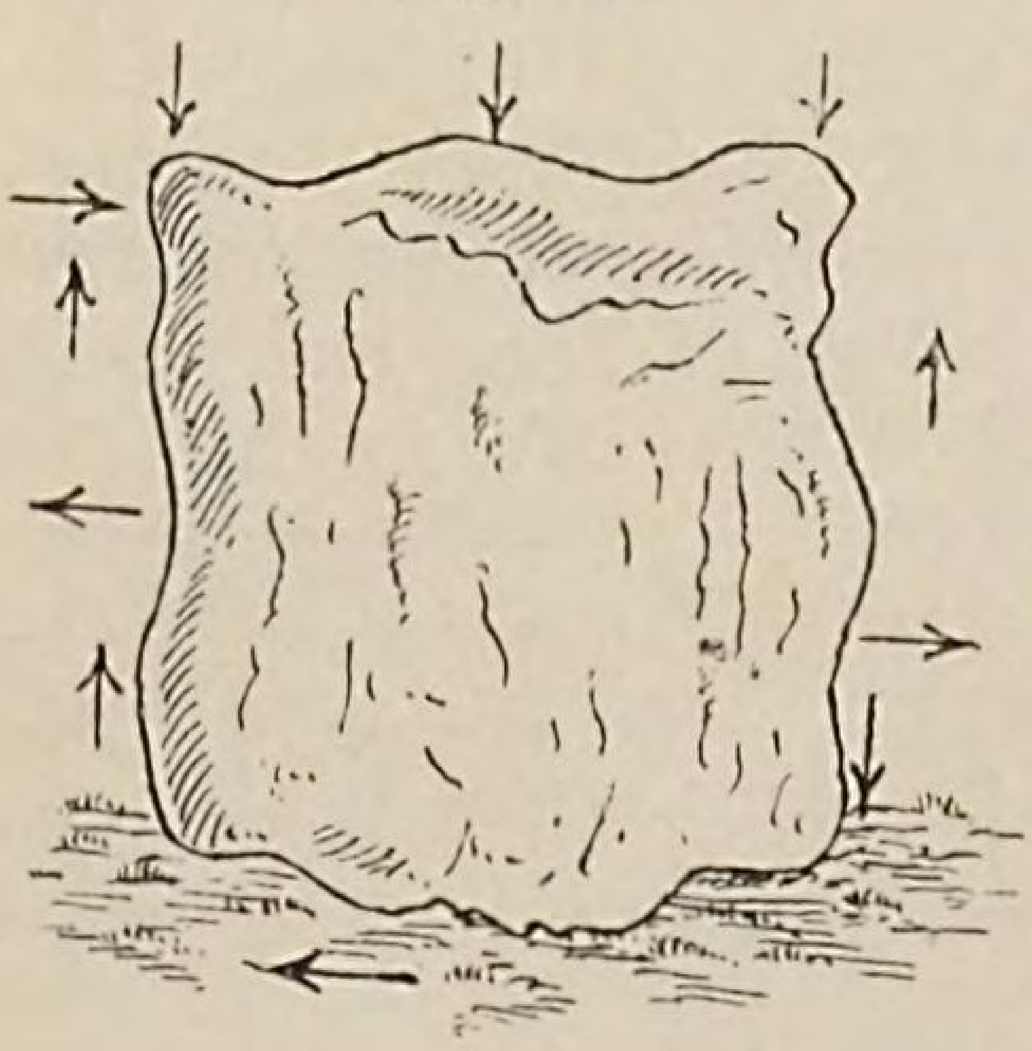
Wie erwähnt, stellt sich eine sich selbst thunlichst überlassene Magnetnadel an verschiedenen Orten auch in verschiedenen Richtungen ein, *und sie würde dies aller Wahrscheinlichkeit nach auch dann noch thun, wenn gar kein polar-magnetisches Oberflächengestein vorhanden wäre.* Es muss demzufolge in der Erde selbst eine Kraft vorhanden sein, die sich an der Oberfläche nicht durchaus im näm-

die Erschütterung sich in einem einzigen, ziemlich heftigen Stosse erschöpfte, während sonst (S. 158) eine Reihe nach und nach schwächer werdender Stösse die Regel bildet.

lichen Sinne äussert; der Erdball selbst ist ein grosser Magnet, und die einzig und allein von der magnetischen Erdkraft als solcher abhängigen Wirkungen machen in ihrer Gesamtheit das Forschungsgebiet der Lehre vom *Erdmagnetismus*[1]) aus. Es versteht sich, dass ohne schärferes Zusehen Phänomene der einen und der anderen Art leicht mit einander verwechselt werden, und es erwächst so der Geophysik die Pflicht, beide Kategorien möglichst auseinander zu halten.

Auf den Gesteinsmagnetismus hat *A. v. Humboldt*, obwohl schon vor ihm einzelne auf denselben zu beziehende Wahrnehmungen gemacht worden waren, doch als der erste die Aufmerksamkeit weiterer Kreise gelenkt, indem er den grossenteils aus Serpentin bestehenden Heidberg im Fichtelgebirge näher untersuchte und darthat, dass dessen Nord- und Südabhang in magnetischer Hinsicht gerade das entgegengesetzte Verhalten bethätigen. Nunmehr folgten sich rasch weitere Beobachtungen dieser Art, von denen wir nur einzelne besonders wichtige hervorzuheben in der Lage sind. *Freiesleben* und *Vieth* prüften die durch ihre sonderbare Gestalt bekannten Schnarcher-Felsen im Harz und fanden sie mit stattlichem Eigenmagnetismus begabt; *Melloni* wies mit dem von ihm konstruierten und *Magnetoskop* benannten Instrumente, das wesentlich aus zwei *astatischen Nadeln*[2]) bestand, das polare Verhalten der Gesteine im neapolitanischen Vulkangebiete nach; *Galbraith* entdeckte in Schottland mehrere Oertlichkeiten dieser Art u. s. w. Wie ungemein kompliziert die Lage der magnetischen Achsen in einem solchen Felsen, ja selbst in einem kleinen abgetrennten Gesteinsfragmente sich gestalten kann, das wird durch *Fig. 59* erläutert, welche nach *Foerstemann* einen Lavablock aus der Eifel darstellt und zugleich zeigt, wie der mit der Pfeilspitze zusammenfallende Nordpol einer Magnetnadel bald angezogen, bald abgestossen oder auch in einem Verhältnisse gänzlicher Neutralität gelassen wird. In der Umgegend von Rom vermochte *Philipp Keller*s eifriges Suchen gegen 200 Stellen nachzuweisen, welche einen sichtlichen Einfluss auf die Nadel ausüben, zumal in der Nähe von Rocca di Papa, wo sich gewisse Linien finden, längs deren fortschreitend man eine gesetzmässige Veränderung der Ablenkungswinkel gewahrt. Vielleicht die stärkste Wirkung dieser Art hat *E. Naumann* auf dem Gipfel des Vulkanes

Fig. 59.



[1]) Der Begründer dieses Wissenszweiges ist der Engländer *W. Gilbert*, dessen grosses Werk hierüber 1600 zu London herauskam.

[2]) So nennt man ein Paar genau gleicher und parallel aufgehängter Nadeln *A* und *B* dann, wenn der Nordpol von *A* sich genau über dem Südpole von *B* und der Südpol von *A* sich genau über dem Nordpole von *B* befindet. Die gegenseitige Wirkung beider Nadeln aufeinander ist durch eine solche Anordnung aufgehoben.

Moriyosi in Japan konstatiert, denn dort brachte ein Lavaklotz von nur etwa 4 ccm Inhalt eine plötzliche Drehung der Kompassnadel um nicht weniger als 155° zuwege; ja bei den geodätischen Aufnahmen, welche 1890 österreichische Offiziere in Böhmen machten, soll sich das Gestein auf der Spitze des St. Georgsberges bei Raudnitz als so eminent magnetisch erwiesen haben, dass schon auf ein paar Meter Entfernung die Nadel einer Bussole sich vollständig umkehrte. Man kann das Ergebnis der bisher in diesem Sinne gemachten, einer systematischen Bearbeitung leider noch entbehrenden Erfahrungen etwa in folgender Weise zusammenfassen:

Sämtliche plutonische und vulkanische Gesteine[1]), *vorwiegend aber die jungvulkanischen Gesteinsarten Basalt und Trachyt, sind polarmagnetisch, selbst wenn kein irgend namhafter Prozentsatz von Magneteisen in ihnen erkennbar ist.*

Inwieweit diese Eigenschaft eine Folge der vulkanischen Vorgänge ist, müssen wir hier dahingestellt sein lassen, doch sei erwähnt, dass *Melloni* dieselbe auf den Prozess des Erstarrens, bei gleichzeitiger Einwirkung des permanenten Erdmagnetismus, zurückgeführt wissen will. Immerhin wäre es demnach von Wichtigkeit, noch flüssige Lavamassen darauf zu prüfen, ob sie die ihnen genäherte Magnetnadel minder stark polar affizieren, als es die daraus abgeschiedenen Festkörper von analoger petrographischer Zusammensetzung thun.

Sedimentgestein hat bislang als durchaus *unmagnetisch* gegolten, doch scheint man von dieser Annahme zurückkommen zu müssen, seitdem die mühsame Durchforschung Grossbritanniens, welche *Thorpe* und *Rücker* eben nach dieser Richtung hin vorgenommen haben, nicht nur *Galbraith*s (s. o.) am Vulkangestein gemachte Entdeckungen bekräftigt und erweitert, sondern auch in anderen Gebirgen entschiedene Spuren von Lokalmagnetismus ergeben hat. Es gilt dies insbesondere für sehr alte Schichten von silurischer und devonischer Natur.

Freilich aber ist im letzteren Falle es nicht festgestellt, ob nicht der gewöhnliche Gesteinsmagnetismus hier durch eine ganz andere, ihrem Wesen nach noch nicht hinlänglich erforschte Erscheinung verdrängt oder doch erheblich getrübt werde. Die Erörterung dieser letzteren, des Gebirgsmagnetismus, müssen wir uns aber für eine etwas spätere Stelle aufsparen.

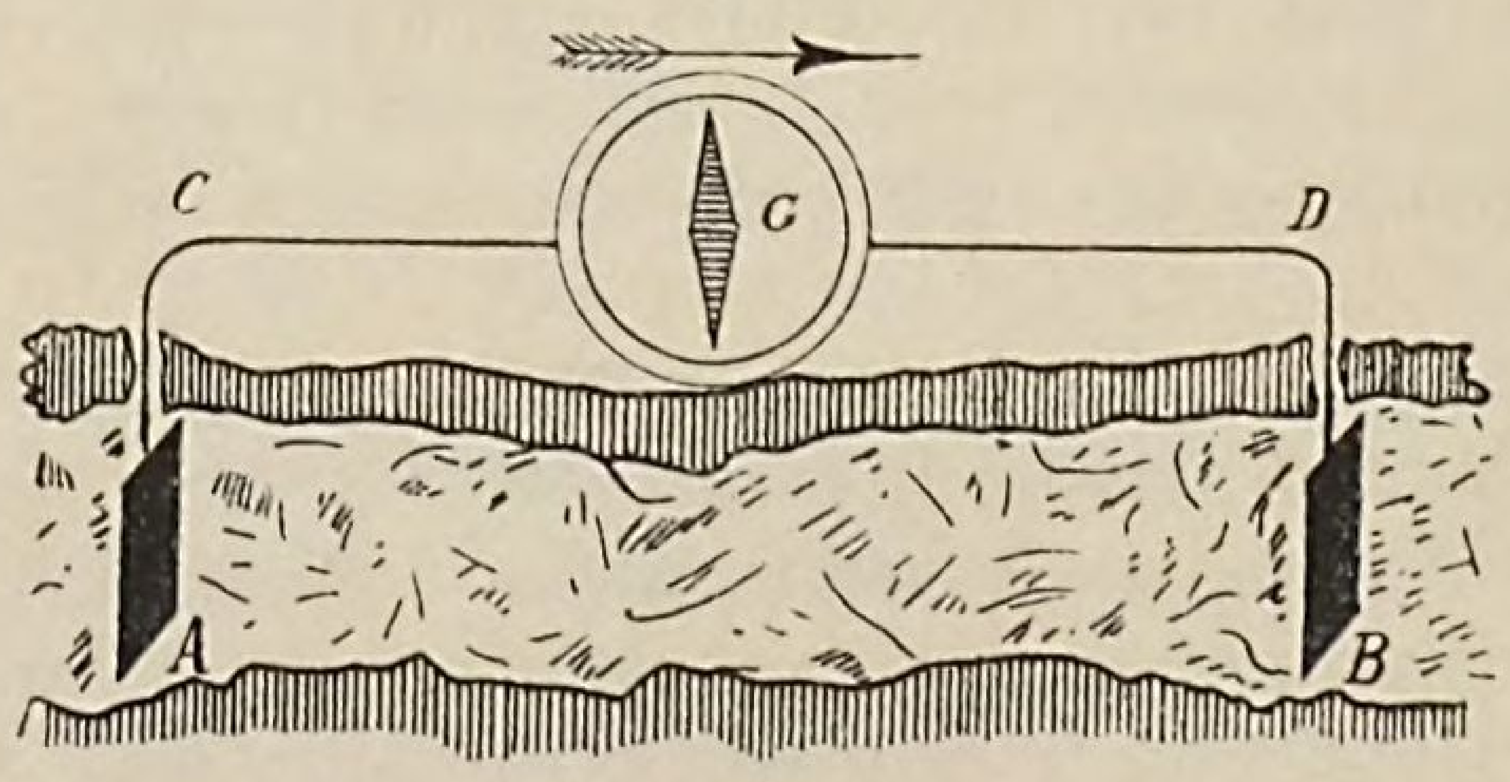
Elektrische Erdströme. Ebenso, wie die oberflächlichen Teile der Erdrinde ein eigenartiges *magnetisches* Verhalten erkennen lassen, treten uns daselbst auch gewisse *elektrische* Phänomene ent-

[1]) Es gehören hierher Granit und Syenit in geringerem Grade, in höherem aber Serpentin, Porphyr, Diorit, Andesit, Trachyt, Basalt u. s. w. Geradezu störend und irreführend bei geomagnetischen Messungen kann auch der Hypersthenfels oder Diabas (S. 64) werden, wie sich *v. Heuglin* auf Spitzbergen überzeugt hat. *Güssfeldt* bemerkt, dass alle Bestimmungen der magnetischen Elemente im Bereiche der Cordilleren kein rechtes Vertrauen verdienten, weil alles anstehende Gestein stark eigenmagnetisch sei.

gegen, welche einer besonderen Betrachtung würdig erscheinen. *Fox* veröffentlichte zuerst im Beginne unseres Jahrhunderts einen Aufsatz, worin er mitteilte, dass er zwei Punkte eines Zinnganges in Cornwall durch einen metallischen Draht mit einander in Verbindung gesetzt und solchergestalt einen elektrischen Strom erhalten habe. *Henwood* fand am gleichen Orte diese Thatsache bestätigt, während andererseits *v. Strombeil* in deutschen Bergwerken diese Stromerzeugung nicht zustande zu bringen vermochte. *Reich* verbesserte das *Fox*sche Verfahren, dessen Grundzüge er beibehielt; er drückte eine Kupferplatte an zwei verschiedene Punkte eines Erzganges an und spannte zwischen den Platten einen Draht aus, in welchen er einen Multiplikator einschaltete. Nun trat ein leidlich energischer Strom auf, durch welchen die Nadel ziemlich stark, einmal sogar um 73°, aus ihrer Ruhelage abgelenkt ward.

Schon *Reich* deutete an, dass das Erz wohl nicht absolut erforderlich zur Stromerzeugung sei, und die damit angeregte Frage trat in ein neues Stadium, als um 1840 *Steinheil*, der für die damals eben gebaute Nürnberg-Fürther Bahn die Einrichtung des galvanischen Telegraphen zu besorgen hatte, die Entdeckung machte, *dass der Erdboden unter allen Umständen ein guter Leiter der Elektrizität sei*[1]). Man erkannte nämlich, dass unter allen Umständen elektrische Strömungen im Boden vorhanden seien, und durch Versuche an *Erdbatterien*, wie solche von *R. Wolf* und ganz besonders von *Lamont* eingerichtet wurden, gedachte man *Grösse*, *Richtung* und allfallsige *Schwankungen* in der Stärke dieser als *Erdstrom* bezeichneten Ausgleichsbewegung zu ermitteln. Das in *Fig. 60* dargestellte

Fig. 60.



*Lamont*sche Verfahren blieb durch lange Zeit das massgebende. In den Boden werden zwei gleichgrosse und gleichgestaltete Kupferplatten *A* und *B* so eingesenkt, dass entsprechende Flächen der-

[1]) Man hatte anfänglich geglaubt, dass es, um zwischen zwei distanten Erdorten telegraphieren zu können, zweier vollständiger Drahtleitungen bedürfe, deren eine die direkte Uebertragung des galvanischen Fluidums besorge, während die andere notwendig sei, um den Strom zu schliessen. *Steinheil* aber fand, dass die zweite Drahtverbindung überflüssig und damit der Kostenaufwand für jedes Telegraphennetz von selbst auf die Hälfte herabgedrückt werde, wenn man an beiden Orten Metallplatten tief genug in die Erde gräbt und dieser letzteren selbst es überlässt, als Stromschluss zu dienen.

selben parallel werden, und ein Draht CD, in welchen bei G eine Galvanometernadel eingeschaltet ist, vermittelt die Verbindung der Erdplatten. Gesetzt nun, der elektrische Spannungszustand sei in A und B ganz der gleiche, dann wird die Nadel G in völliger Unbeweglichkeit verharren; wenn dagegen die Spannung — oder, wie wir mit entsprechender Verallgemeinerung früher (S. 46) formulierter Begriffe auch sagen dürfen, — das *elektrische Potential*, in A grösser ist als in B, so wird eine Ausgleichsströmung im Sinne des beigefügten Pfeiles entstehen, und die Nadel wird den entsprechenden Ausschlag erkennen lassen. Allerdings also verrate dieses Instrument, so meinte *Lamont*, nicht den eigentlichen Erdstrom selber, sondern nur dessen *Wellen*.

Auch dies ist, wie *Wild* darlegte, nicht ohne weiteres richtig, vielmehr leidet die soeben beschriebene ältere Beobachtungsmethode noch an sehr wesentlichen Mängeln. Erstens steht ja über die Richtung, welche ein als vorhanden vorausgesetzter Erdstrom von hause aus, ohne dass die Platten richtunggebend auf ihn einwirken, einhalten würde, gar nichts fest, und zweitens vermengt sich das *natürliche Erdpotential* mit dem künstlich hervorgerufenen *Erdplattenpotential*. Nach *Wild* wird man also, um dem ersten Fehler zu begegnen, den Strom in den beiden zu einander senkrechten Hauptrichtungen der Windrose verfolgen und die beiden so erhaltenen Komponenten nach bekannter Regel zu einer Resultierenden zusammensetzen. *Wild*s Platten waren je 1 km von einander in nordsüdlicher resp. ostwestlicher Richtung entfernt. Von den durch die Galvanometer ermittelten Potentialdifferenzen muss aber erst die erwähnte Potentialdifferenz der Erdplatten in Abzug gebracht werden, deren Mass durch eine analoge Messung, die nur in magnetisch ganz ruhiger Zeit ins Werk gesetzt werden soll, zu erhalten wäre. Beiläufig bemerkt, fällt für gewöhnlich für die Umgebung des geophysikalischen Observatoriums Pawlowsk bei St. Petersburg, wo alle die von *Wild* beschriebenen Erdstromuntersuchungen angestellt worden sind, die Strömungsrichtung weit eher mit einem Erdparallel als mit einem Erdmeridiane zusammen.

Aber auch gegen die Zulässigkeit der von *Wild* an der Erdplattenmessung angebrachten Verbesserungen sind von *K. Schering* Einwürfe geltend gemacht worden, wesentlich aus dem Grunde, weil durch die Berührung der Platten, die ja nur ein Mittel zum Zwecke darstellen sollten, mit der Erde jene elektromotorisch angeregt werden können, ohne dass ein Mittel besteht, die Grösse der so entstandenen Kraft zu schätzen. Es scheint mithin, dass unsere Einsicht in das Wesen des Erdstromes, obschon man die Existenz eines solchen unbedingt zugeben muss, noch keine tiefe ist und auf den bisher zumeist beschrittenen Wegen auch kaum weiterer Vertiefung zugeführt werden kann, denn auch die experimentellen Resultate, welche *Battelli* neuerdings gefunden hat, dürften durch *Schering*s Kritik getroffen werden. Dagegen ist *Werner Siemens* im Begriffe, die Induktionsströme, welche bei Veränderungen des magnetischen Kraftzustandes der Erde in geschlossenen Leitungen entstehen, nach ganz

neuen Gesichtspunkten quantitativ zu erforschen, und da diese Methode für die wissenschaftlichen Polarstationen teilweise zur Norm gemacht worden ist, so darf man hoffen, in nicht ferner Zeit klarer wenigstens über diese eine Seite der verwickelten Frage sehen zu können.

Die drei Elemente des Erdmagnetismus. Die nächste Aufgabe, welche uns erwächst, ist nun offenbar die: *Wie lässt sich für einen gegebenen Erdort Richtung und Stärke der magnetischen Erdkraft bestimmen?* Wäre es möglich, einen magnetisierten Stab ganz und gar der Einwirkung der Schwerkraft zu entziehen, so würde er sich so einstellen, dass seine Längsachse mit der Richtung der fraglichen Kraft übereinstimmte. Dies lässt sich nun allerdings nicht machen, wohl aber können wir einen gewissen Horizontal- und einen gewissen Vertikalwinkel messen, und die Kenntnis dieser beiden Winkel leistet uns den gleichen Dienst.

Der Winkel, welchen die Achse einer im Schwerpunkte unterstützten und in der Horizontalebene frei beweglichen Magnetnadel mit der Nordsüdrichtung einschliesst, ist die magnetische Deklination (Variation, Missweisung).

Denkt man sich durch die Nadelachse eine Ebene senkrecht zu der des Horizontes gelegt, so erhält man den *magnetischen Meridian.* Die Deklination ist folglich auch jener Winkel, welchen die Ebenen des astronomischen und des magnetischen Meridianes mit einander bilden.

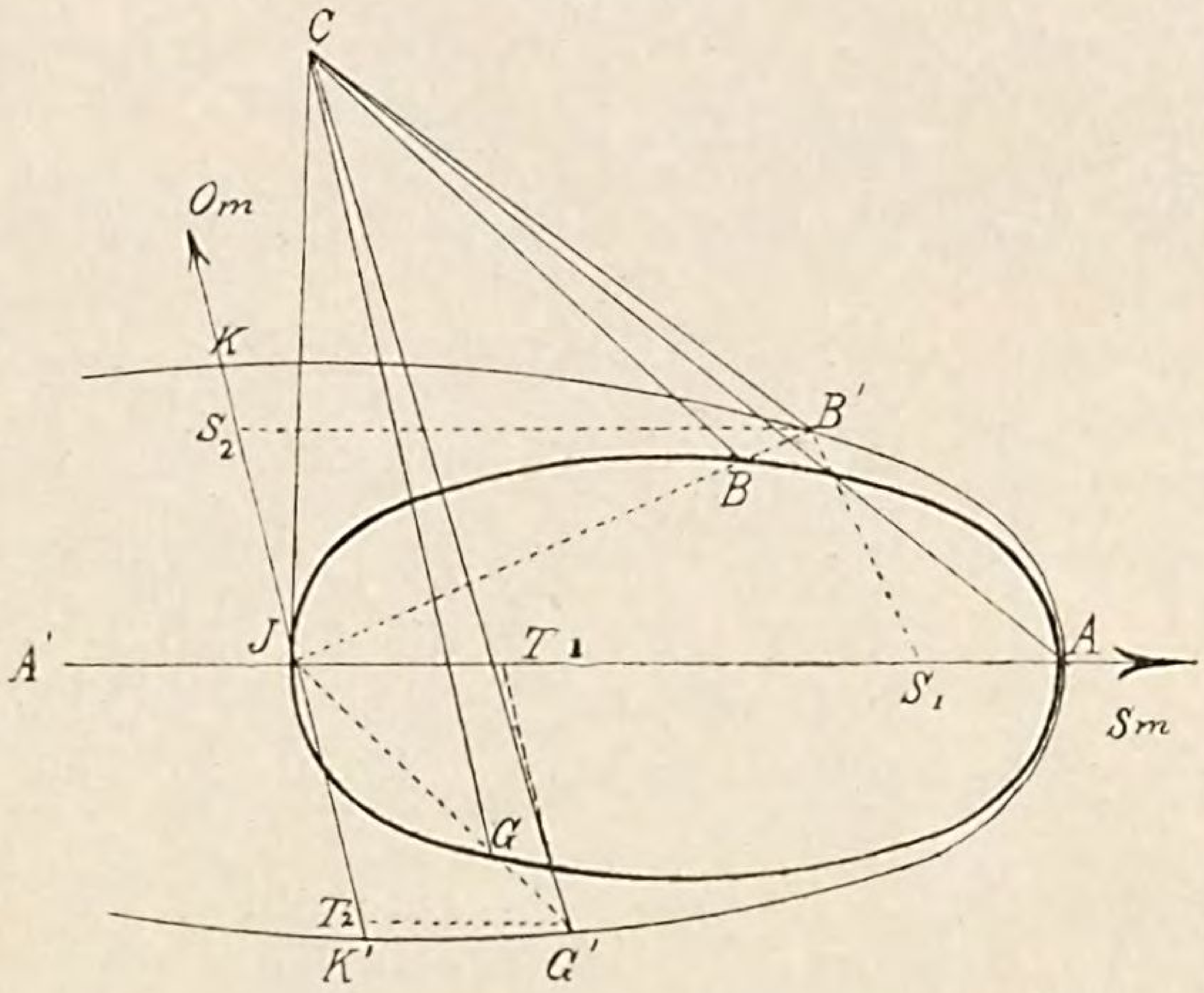
Wenn man andererseits eine Magnetnadel so einrichtet, dass sie sich ausschliesslich um eine horizontale Achse drehen kann, so nimmt sie im allgemeinen weder eine horizontale noch eine vertikale Lage an, sondern ihre Achse bildet mit der Horizontalebene einen gewissen Winkel, *dessen Grösse von der Stellung der betreffenden Vertikalebene abhängig ist.* Um vergleichbare Beobachtungen zu bekommen, muss also die Neigung stets in einer ganz bestimmten Vertikalebene gemessen werden, und es erscheint von vornherein wahrscheinlich, dass dies der magnetische Meridian sein wird. Die Notwendigkeit ergibt sich aus folgendem Lehrsatze:

Von allen Neigungswinkeln, welche eine in vertikaler Ebene frei bewegliche Nadel gegen den Horizont annehmen kann, ist derjenige der kleinste, welcher der Ebene des magnetischen Meridianes entspricht.

Wir geben für dieses wichtige Theorem einen Beweis, dessen Hauptpunkte bereits bei *Daniel Bernoulli* zu finden sind. J (*Fig. 61*) ist der Mittelpunkt eines horizontalen Kreises, AA' der Durchschnitt von Horizontal- und magnetischer Meridianebene, so dass also die eine Spitze der Deklinationsnadel nach $S_{'''}$ zeigen würde. Die Linie $JO_{'''}$ steht in der Horizontalebene auf $JS_{'''}$ senkrecht und begegnet der Kreisperipherie in den beiden Punkten K und K'. C, vertikal über J befindlich, ist der Schwer- und Unterstützungspunkt der Neigungsnadel. Wenn letztere in der Ebene des magnetischen Meridianes sich befindet, möge ihre Achse verlängert durch den Punkt A hindurchgehen, so dass alsdann $\sphericalangle\ CAJ$ den Neigungswinkel an-

zeigt; beobachten wir ferner die Nadel in zwei Vertikalebenen, welche mit der Ebene CJA beiderseits gleiche Winkel bilden, so werden die Neigungen gegen den Horizont in beiden Fällen die gleichen sein. Um die Achsenrichtungen für diese Voraussetzung zu finden, machen wir auf dem Kreisumfange von A aus Bogen AB' = Bogen AG' und ziehen $B'C$ und $G'C$, sowie JB' und JG'; die Ebenen $CB'J$ und $CG'J$ sind es jetzt, in denen die Nadeln schweben, und wir haben lediglich den Nachweis zu führen, dass, wenn wir die Durchschnittspunkte der verlängerten Nadelachse resp.

Fig. 61.



mit B und G bezeichnen, $JB < JB'$ und $JG < JG'$ sein muss, denn aus der Figur erhellt unverzüglich, dass $\triangle\, CJA \cong \triangle\, CJB' \cong \triangle\, CJG'$, also auch $JA = JB' = JG'$ ist. Die magnetische Kraft kann als ausschliesslich im magnetischen Meridiane wirkend betrachtet werden; ihr Mass möge JA sein; werden JB' und JG' als Diagonalen von Parallelogrammen genommen, deren Seiten resp. mit JA und KK' der Richtung nach übereinstimmen, so neutralisieren sich die Seitenkräfte $JS_2 = S_1B' = JT_2 = T_1G'$, und es bleiben nur die einander parallelen und gleichen Seitenkräfte S_2B' und T_2G' übrig.

Wir tragen, um die vorhin schon eingeführten Punkte B und G zu erhalten, auf JB' und JG' resp. die Strecken $JB = JG = S_2B' = T_2G'$ ab, denn alsdann wird resp.

$$\sphericalangle\, JBC = \text{arc tang}\,\frac{CJ}{JB},\quad \sphericalangle\, JGC = \text{arc tang}\,\frac{CJ}{JG}$$

der den fraglichen Ebenen zugehörige Neigungswinkel sein. Die Seite eines Rechteckes ist kleiner als seine Diagonale, somit ist, was zu beweisen war,

$$JB < JB',\ JG < JG'.$$

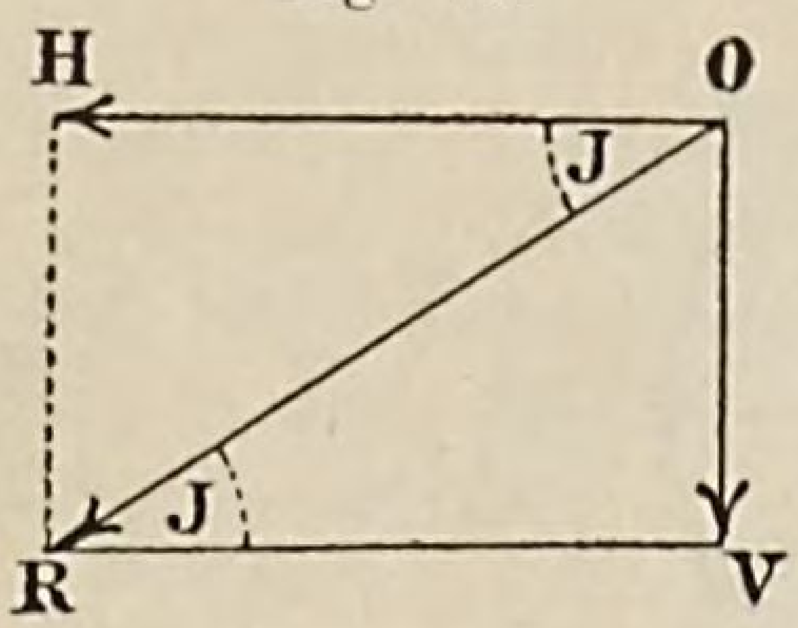
Bemerkt zu werden verdient, dass die Punkte *B*, *G* u. s. w. die Peripherie eines Kreises vom Durchmesser *AJ* erfüllen, und damit ist die geometrische Konstruktion des Neigungswinkels für eine beliebige, vom magnetischen Meridiane verschiedene Vertikalebene möglichst erleichtert. Man sucht nämlich, nachdem dieser Kreis einfürallemal gezogen ist, einfach den Punkt auf, in welchem die Peripherie von der Spurlinie der betreffenden Vertikalebene geschnitten wird, und verbindet diesen Punkt mit dem als der Lage nach bekannt vorausgesetzten Nadelschwerpunkt.

Daraufhin geben wir nachstehende Definition:

Der Winkel, welchen die Achse einer in die Ebene des magnetischen Meridianes gebrachten und in dieser um eine Horizontalachse frei drehbaren Magnetnadel mit dem Horizonte bildet, wird die magnetische Neigung oder Inklination genannt.

Als drittes Element endlich tritt noch die *Intensität* oder *Stärke* der magnetischen Erdkraft zu den beiden vorigen hinzu. Ueber die Art, dasselbe zu messen, werden wir uns weiter unten zu verbreiten haben; einstweilen sei nur daran erinnert, dass Intensität und Inklination in enger Beziehung zu einander stehen. In *Fig. 62* repräsentiere nämlich die Kraft $OR = T$ die Intensität; wir zerfällen diese offenbar in der magnetischen Meridianebene wirksame Kraft in eine horizontale Komponente $RV = HO = X$ und in eine vertikale Komponente $OV = HR = Y$. Da dann $\sphericalangle VRO = \sphericalangle ROH$ der magnetischen Neigung J gleich ist, so kann man sagen:

Fig. 62.



Die Intensität T und die Inklination J werden durch die Relationen

$$X = T \cos J, \quad Y = T \sin J, \quad T = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

mit einander verknüpft.

Wir wissen also jetzt, welche Vorstellung wir mit den drei geomagnetischen Elementen zu verbinden haben. Nunmehr kommt es darauf an, Mittel zur quantitativen Bestimmung derselben an die Hand zu geben.

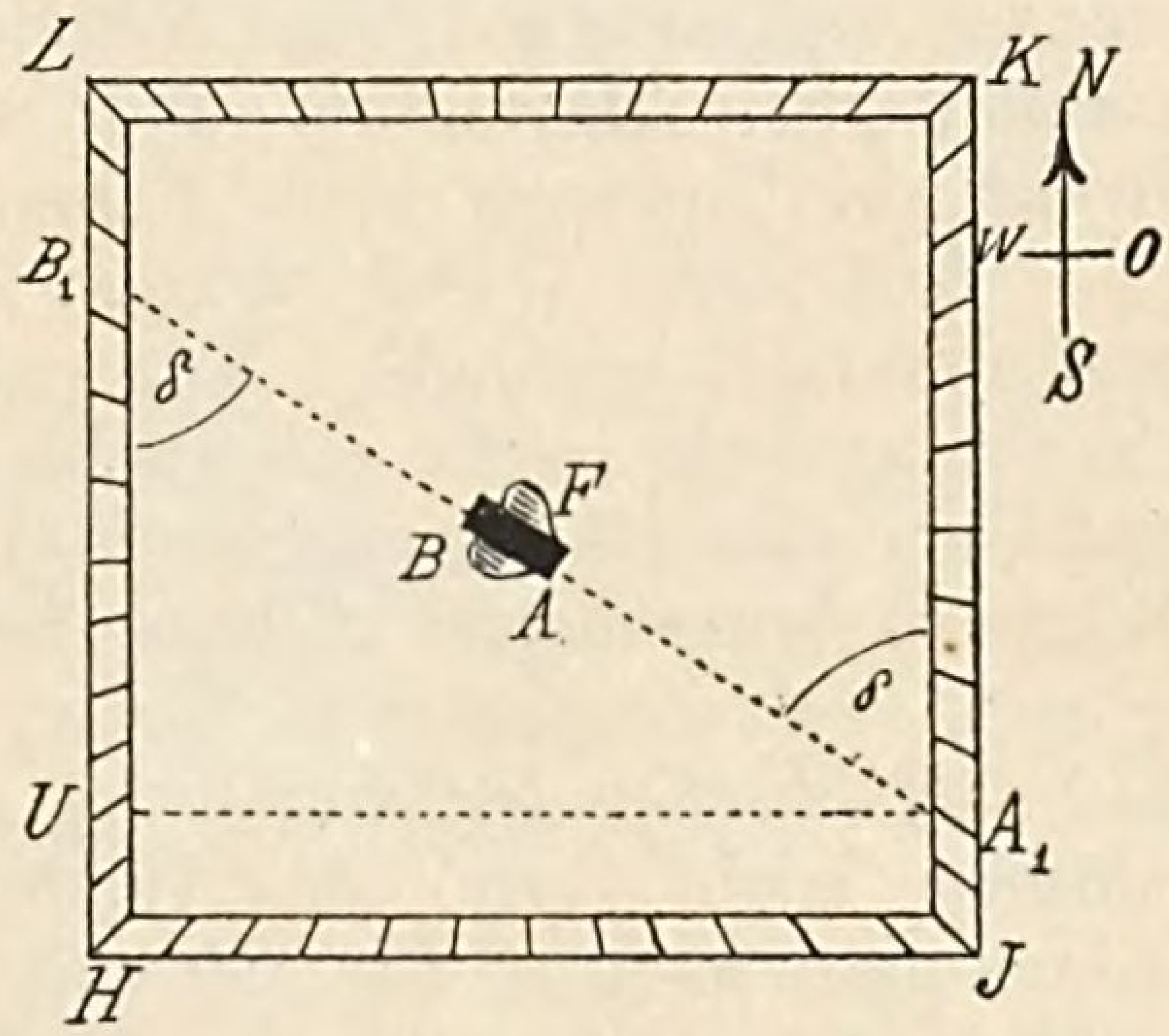
Methoden zur Bestimmung der Deklination. Als die polare Richtkraft, welche die Erde auf eine frei schwebende Horizontalnadel ausübt, erkannt, d. h. mit anderen Worten, als der erste *Kompass*, die erste *Bussole* konstruiert war, hätte gleichzeitig auch die Existenz der Deklination erkannt, deren Grösse bestimmt werden müssen, denn die Kunst, eine *Mittagslinie* zu ziehen, hatte man ja aus dem griechischen Altertum überkommen. Gleichwohl hat es lange gedauert, bis der Beobachtungssinn genug geschärft war, um eine so nahe liegende Thatsache festzustellen[1]). Was nun den

[1]) Die Frage, ob der französische Ritter *Pierre de Maricourt*, fälschlich oft *Petrus Adsigerius* genannt, schon um 1266 die Deklination bemerkt habe,

Kompass selbst betrifft, so war derselbe den Chinesen als *„Südweiser“* wahrscheinlich schon in vorchristlicher Zeit bekannt, und von ihnen dürfte die Kenntnis eines für den Seemann so nützlichen Instrumentes auf die mit China von je in lebhaften Handelsbeziehungen stehenden Araber übergegangen sein; in einer arabischen Schrift über Edelsteine, die nach *Klaproth* um 1280 n. Chr. abgefasst ward, wird des „hässlichen schwarzen Steines“ Erwähnung gethan, mit dessen Hilfe der Seefahrer seinen Weg über das pfadlose Meer zu finden wisse. Vorher aber hatten auch schon abendländische Schriftsteller — *Guiot de Provins, Alexander Neckam, Jacques de Vitry* —, durchweg Leute, die an Kreuzzügen teilgenommen oder die ihnen von heimgekehrten Kreuzfahrern übermittelten Nachrichten verarbeitet hatten, den Kompass deutlich genug beschrieben. Ursprünglich war der *schwimmende Kompass* der allein übliche, und erst nach und nach trat an dessen Stelle der *Trockenkompass*, dessen man sich gegenwärtig so gut wie ausschliesslich bedient.

Bei der ersteren Art, die Kompassnadel zu fixieren, legte man das Magnetstäbchen, welches ursprünglich ein Naturmagnet, später hingegen ein nach bekannter Art mit einem Nord- und Südpole versehener Stahlstab war, auf eine Unterlage, deren Stoff ein hinlänglich geringes spezifisches Gewicht besass, um trotz jener Beschwerung im Wasser nicht unterzusinken. Die Nadel stellte sich dann, die *„navicula“*, wie sich *Kepler* ausdrückte, mit sich herumdrehend, im magnetischen Meridiane ein. Aus dem XVI. Jahrhundert liegen nach *Schück* von *Camillo Leonardo*, von *Peter Apian*, von *Barlowe* u. a. Zeugnisse für die Verwendung des nassen Kompasses vor; die bequemste, zu wissenschaftlichen Zwecken taugliche Einrichtung aber gab demselben *Kepler* (*Fig. 63*). $HJKL$ ist ein quadratisches Gefäss, dessen Ränder in gleiche Teile von der Grösse m geteilt sind, und welches im Sinne der beigesetzten Rose nach den Weltgegenden orientiert wird. F ist ein Korkplättchen, welches man, nachdem die Nadel AB darauf gelegt ist, auf die Oberfläche des das Gefäss bis fast zum Ueberlaufen erfüllenden Wassers legt und sich selber überlässt.

Fig. 63.



ist noch nicht gänzlich aufgeklärt, weil seine angebliche Aeusserung hierüber nicht in allen auf uns gekommenen, durch *Bertelli* sorgfältig geprüften Handschriften und Druckausgaben seines Sendschreibens an *Syger de Fontancourt* enthalten ist. Ganz gewiss dagegen ist, dass *Columbus* schon auf seiner ersten Entdeckungsfahrt die Missweisung der Kompassnadel und zugleich die mit der geographischen Länge wechselnde Veränderung in der Grösse dieses Winkels wahrgenommen hat.

Nachdem es in Ruhe gekommen, gibt AB den magnetischen Meridian an, und die verlängerte AB möge die beiden nordsüdlich gerichteten Quadratseiten JK und HL bezüglich in A_1 und B_1 treffen. Dann ist die Deklination $\delta = \sphericalangle HB_1A_1 = \sphericalangle B_1A_1K$; fällt man von A_1 auf HL die Senkrechte $A_1U = HJ = am$ und betrachtet das bei U rechtwinklige Dreieck A_1B_1U, so ist tang $\delta = A_1U : B_1U$. Durch unmittelbare Ablesung ersieht man, dass $B_1H = bm$, $A_1J = cm$ ist, und hat deshalb

$$\text{tang}\,\delta = \frac{am}{bm - cm} = \frac{a}{b - c}.$$

Lamont ist weit davon entfernt, der Schwimmbussole selbst für die Gegenwart allen Wert abzusprechen.

Weitaus häufiger, und auf den Schiffen zur Zeit ausschliessend, sieht man freilich die Trockenbussole im Gebrauche. Die Magnetnadel hängt entweder an einem ungezwirnten Faden oder sie trägt in der Gegend ihres Schwerpunktes ein Hütchen, mittelst dessen man sie auf eine feine vertikale Spitze aufsetzen und auf dieser spielen lassen kann. *Der Kreis mit der Strichrose ist auf der Nadel selbst befestigt;* durch diesen einfachen Kunstgriff scheint, *Breusings* geistreicher Hypothese zufolge, *Flavio Gioja* von Amalfi den Kompass erst wirklich gebrauchsfähig gemacht zu haben. Die Richtung des wahren Meridianes ist nämlich in die Kreisscheibe als Durchmesser eingetragen; die Nadelachse selbst aber befindet sich im magnetischen Meridiane, und so kann der Winkel beider Ebenen direkt am Umfange jener Scheibe abgelesen werden.

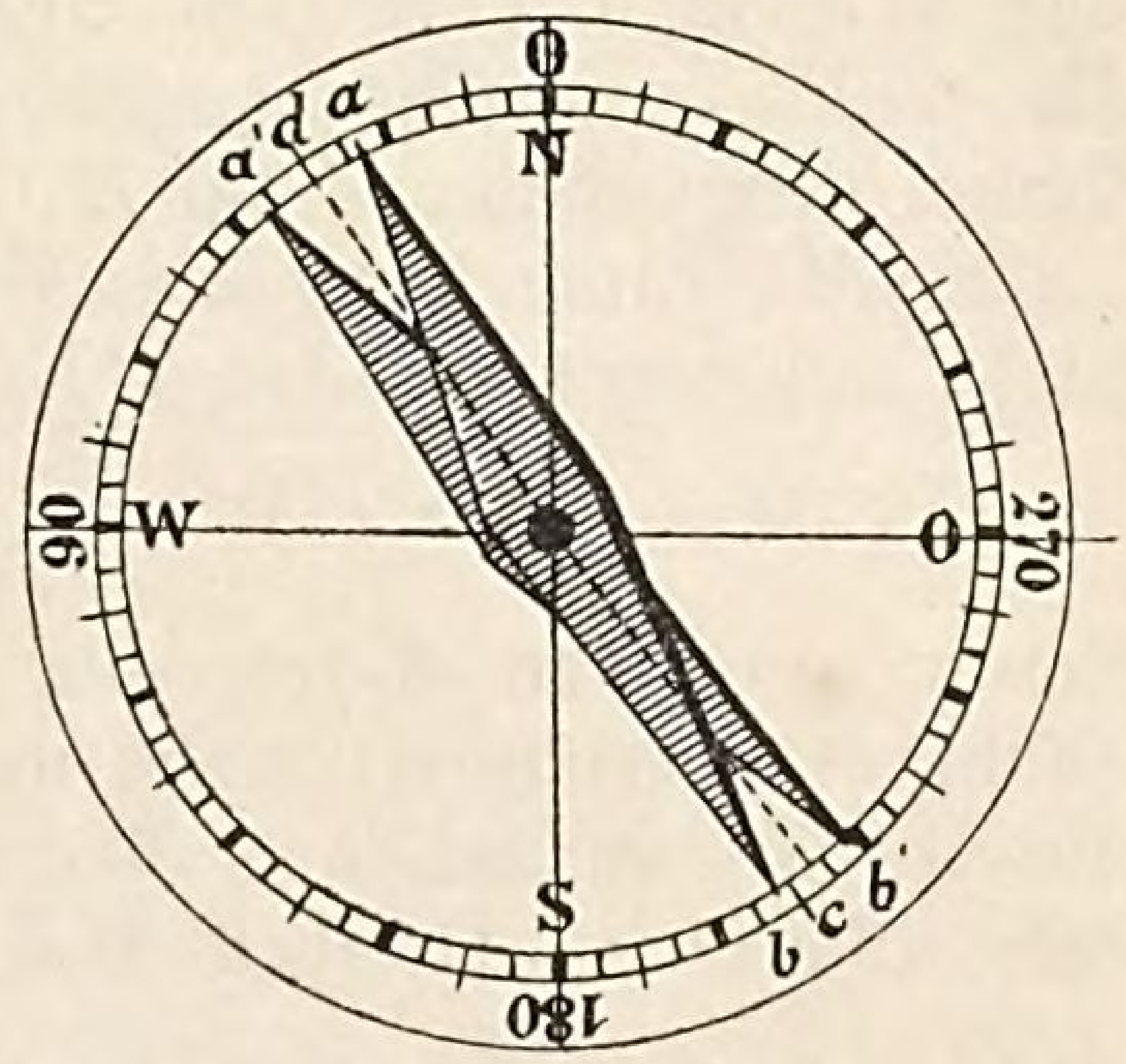
Auf diese Weise werden also die gewöhnlichen Deklinationsbestimmungen gemacht. Nur muss man sich freilich vor den die Beobachtung sehr leicht unbrauchbar machenden Fehlern hüten, welche aus dem Gesteinsmagnetismus [1]) (s. o.) sowie aus *der ablenkenden Wirkung benachbarter Eisenmassen* [2]) entspringen. Auch der kaum je ganz zu vermeidende Fehler der *Inkongruenz der geometrischen und magnetischen Nadelachse* ist zu beachten, doch kann man dessen Einfluss leicht durch das Beobachtungsverfahren selbst ausmerzen, indem man gemäss *Fig. 64* vorgeht. Hier ist der Kreisumfang sowohl im Sinne der Strichrose, als auch geometrisch geteilt, so dass

[1]) Den Mitgliedern der neuerdings von fast allen europäischen Kulturstaaten behufs Anstellung von geophysikalischen Beobachtungen in die Polargegenden entsandten Expeditionen ist die auf grund der früher (S. 177) beigebrachten Erfahrungsthatsachen nur allzu begreifliche Auflage gemacht worden, vor dem Beginne des magnetischen Beobachtungsdienstes sich von der Abwesenheit aller lokalmagnetischen Störungen zu überzeugen.

[2]) Dies gilt hauptsächlich von den Schiffen. Das Eisenwerk derselben ist zum Teile von hause aus magnetisch, zum Teile wird auch in ihm, wenn die betreffenden Stangen u. s. w. gewisse Stellungen annehmen, erst Magnetismus induziert, und so entsteht die *Kompassdeviation*, welche keineswegs konstant ist, sondern sobald das Schiff schlingernde Bewegungen macht, ihren Wert ändert (*Krängungsfehler*). Theoretisch stellen deren Betrag die von *Poisson*, *Weyer* u. a. angegebenen Formeln dar; praktisch sucht man dem Misstande durch Anbringung passender eiserner Gegenstände zu begegnen, die kompensierend wirken.

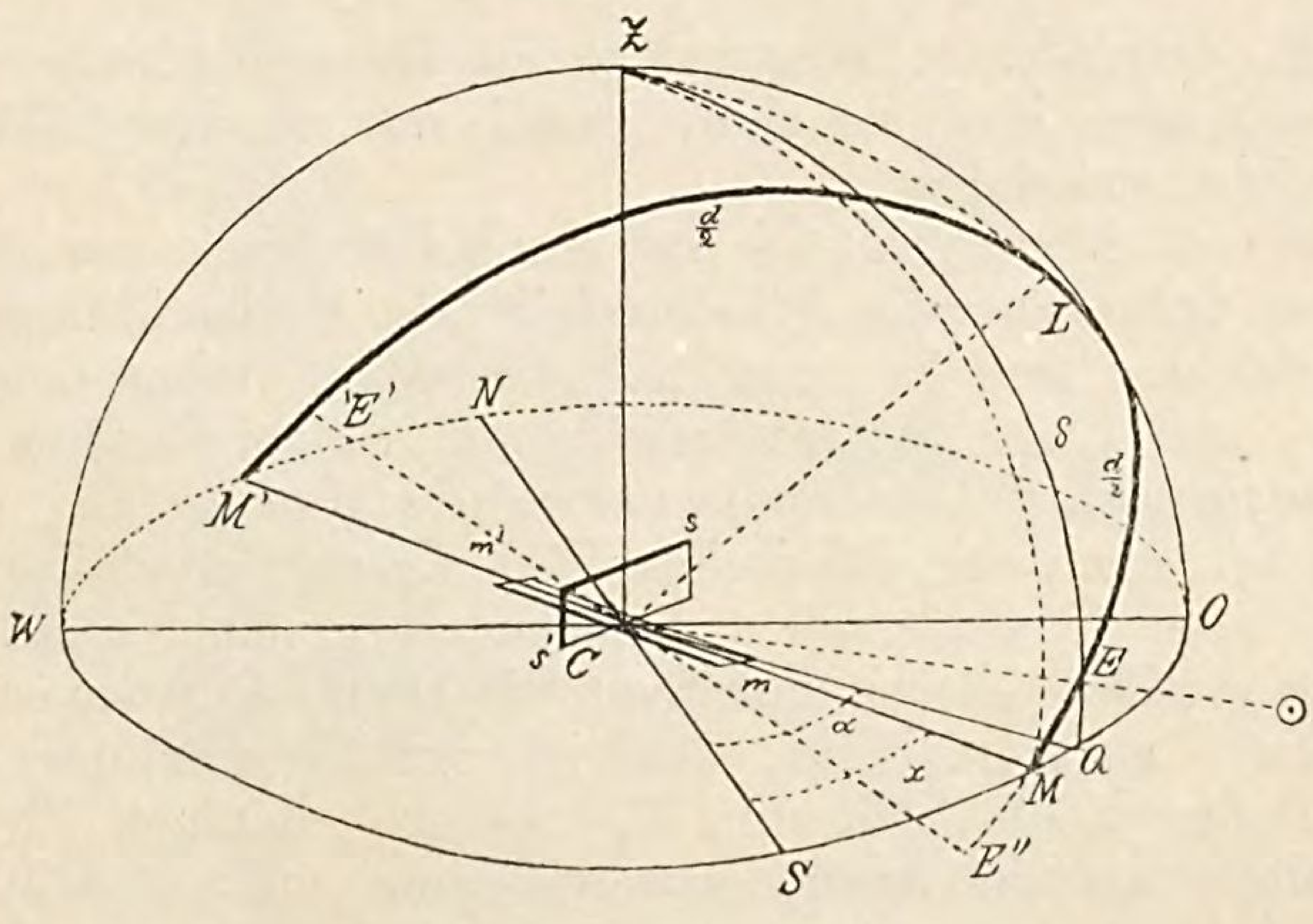
dem Nordpunkte die Werte 0° und 360° entsprechen. Die einen rautenförmigen Achsenquerschnitt aufweisende Nadel stellt sich so ein, dass die Verbindungslinie *ab* die Enden verbindet, allein man weiss, dass diese Lage der erwähnten Unvollkommenheit halber nicht die richtige ist. Man hebt sie demgemäss ab, kehrt sie um, so dass obere und untere Seite die wechselseitige Lage ändern[1]), und setzt sie nunmehr wiederum auf die Spitze; dies bewirkt, dass jetzt *a′b′* die Verbindungslinie der Endpunkte wird. Aus der ganzen Anordnung ergibt sich aber, dass der Fehler sich im entgegengesetzten Sinne bei der ersten und bei der zweiten Beobachtung bethätigt haben muss; wenn man sonach die Bogen *aa′* und *bb′* resp. in *d* und *c* halbiert, so darf man *dc* als die eigentliche Nadelachse ansehen, und die Bogen *Nd* und *Sc* geben die wahre magnetische Deklination.

Fig. 64.



Mittelst einer astronomischen Beobachtung hat *Simonow* auf sehr einfache Weise ebendiesen Wert zu finden gelehrt. *NOSW* (*Fig. 65*) ist der durch seine beiden Kardinalrichtungen gekenn-

Fig. 65.



zeichnete Horizontalkreis, in dessen Zentrum *C* sich der Beobachter, dessen Zenit *Z* ist, befinden soll. *C* ist auch der Mittelpunkt eines Magnetstabes *mm′*, dessen Achse in den magnetischen Meridian fällt; schneidet *mm′*, beidseitig verlängert, den Horizontalkreis in

[1]) Die Nadel ist, wenn dies möglich sein soll, nicht auf dem Hütchen festgemacht, sondern diesem nur aufgelegt.

den Punkten M und M', so ist $\sphericalangle SCM = \sphericalangle NCM' = x$ die gesuchte Deklination. Auf mm' ist ein Spiegel ss' senkrecht angebracht, der die Sonne, welche im Punkte E der Himmelskugel gedacht werden kann, reflektiert, so dass mit einem Spiegelsextanten der Winkel d gemessen werden kann, den an der Himmelssphäre die wahre und die gespiegelte Sonne mit einander bilden. Wir finden dieses Spiegelbild E', wenn wir in der Zeichnung $\sphericalangle M'CE' = \sphericalangle MCE$ machen; dann ist $\sphericalangle ECE' = d$. Ferner sei CE'' senkrecht auf jener Graden CL, welche $\sphericalangle ECE'$ halbiert; alsdann ist $\sphericalangle E''CM = \sphericalangle E'CM' = \sphericalangle ECM = 90^0 - \frac{d}{2}$. Das Azimut der Sonne, gegeben durch den Winkel $QCS = \alpha$, ist bekannt, resp. leicht zu berechnen; zieht man noch CQ, so ist $\sphericalangle QCM$, gemessen durch den sphärischen Winkel QZM, gleich $\alpha - x$. Jetzt werde das sphärische Dreieck MZE betrachtet; in ihm ist $ZM = 90^0$, $ME = 90^0 - \frac{d}{2}$, ZE gleich der aus der Deklination zu berechnenden Zenitdistanz p der Sonne, $\sphericalangle QZM = \alpha - x$, wie wir soeben sahen. Einem Fundamentalsatze der Raumtrigonometrie zufolge hat man also die Gleichungen

$$\cos\left(90^0 - \frac{d}{2}\right) = \cos 90^0 \cos p + \sin 90^0 \sin p \cos (\alpha - x);$$

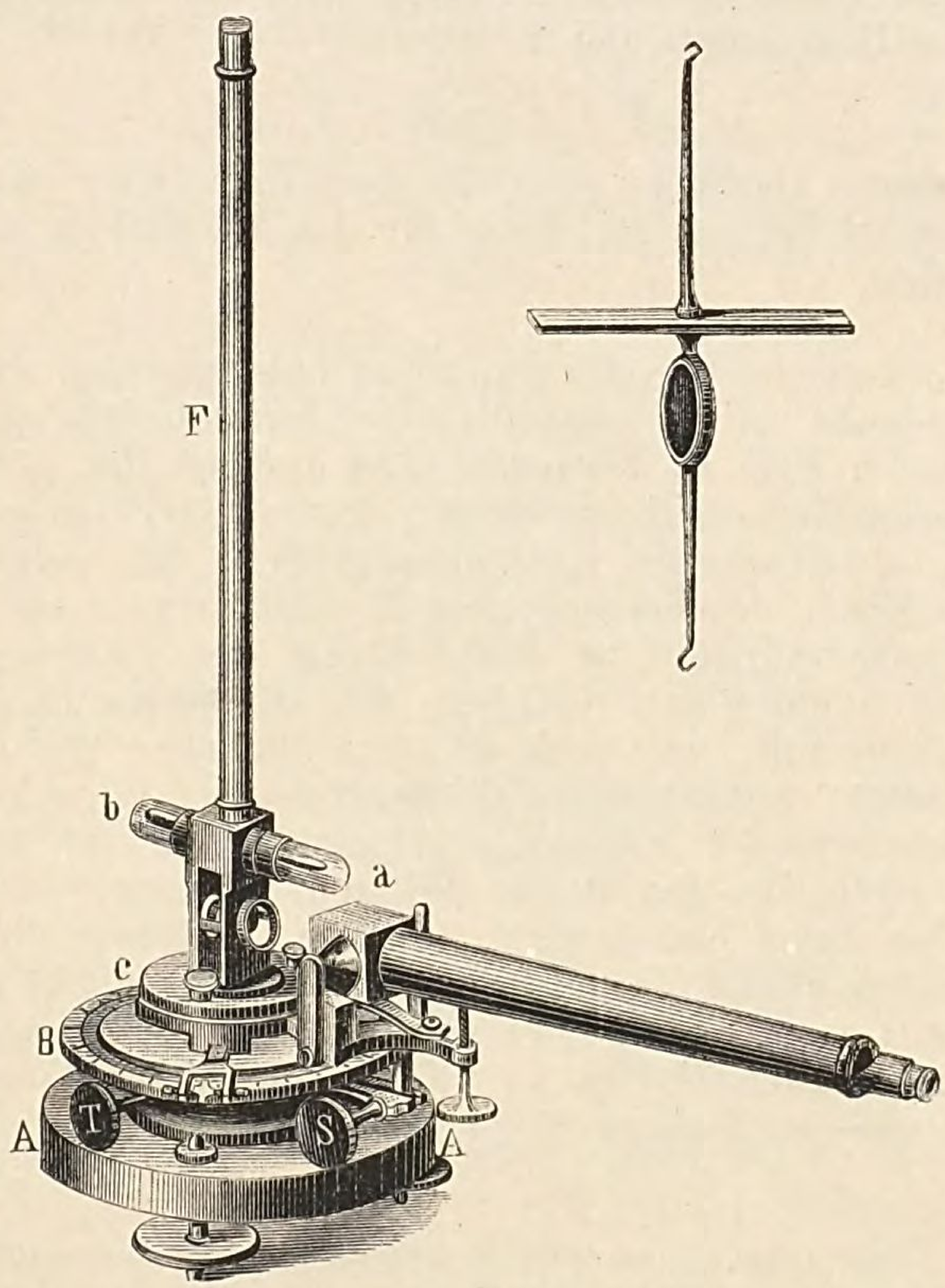
$$x = \alpha - \operatorname{arc} \cos \frac{\sin \frac{d}{2}}{\sin p}.$$

Einer sehr erheblichen Genauigkeit ist diese Methode zwar nicht fähig, dafür aber lässt sie sich, zumal von wissenschaftlichen Reisenden, leicht anwenden.

Wenn es im Gegenteile auf ein hohes Mass von Schärfe ankommt, so tritt *Lamonts Reisetheodolit* als Beobachtungsinstrument in seine Rechte, und da man sich desselben zudem auch für Inklinations- und Intensitätsmessungen mit Nutzen bedient, so spielt er bei *magnetischen Landesaufnahmen* die Hauptrolle. In *Fig. 66* erblicken wir ein perspektivisches Bild dieses Theodoliten. AA ist eine feste, auf Stellschrauben horizontal stehende Platte, welche durch eine vertikale Achse durchbohrt ist, und an dieser ist wiederum die Scheibe c so angebracht, dass sie um die genannte Achse gedreht und durch die Schraube T in einer beliebigen Stellung vorläufig fixiert werden kann, worauf dann noch die Mikrometerschraube S eine feinere Bewegung ermöglicht. Zwei sich diametral gegenüberstehende Nonien, von denen einer in der Figur zu sehen ist, werden, sobald die Einstellung erfolgt ist, am Limbus B abgelesen. Fest verbunden ist ferner mit c ein Träger für ein genau horizontal liegendes, die Drehung der Scheibe c mitmachendes Fernrohr, dessen Objektiv sich bei a befindet. Wir sehen von allen sonstigen Bestandteilen der Zeichnung diesmal noch ab und denken uns, durch das Fernrohr werde nach einem entfernten, am Gesichts-

kreise erkennbaren Punkt — Kirchturm, künstliche Mire — visiert; die Nonienablesung ergebe die Werte α und α'. Wenn gar kein Fehler in der Teilung u. s. w. vorkommt, so muss $\alpha - \alpha' = \pm 180^0$ sein; ist dies nicht der Fall, sondern ergibt sich die Differenz $(\pm 180^0 + y)$, so ist statt α der Wert $\left(\alpha + \frac{y}{2}\right)$, statt α' der Wert $\left(\alpha' - \frac{y}{2}\right)$ zu benutzen. Erst nachdem man so weit gelangt ist, setzt man das *magnetische Gehäuse* auf die Platte c auf. Dasselbe

Fig. 66.



besteht wesentlich aus einem langen hohlen Metallrohre F, in dessen Achse sich die den Magnetstab tragende Schnur befindet, und der Stab selbst, gewöhnlich ein einfaches Parallelepipedum, ist in eine Glasröhre ab so eingeschlossen, dass er innerhalb derselben nur unbedeutende Schwingungen auszuführen vermag. Man dreht, nachdem das Instrument in der beschriebenen Weise vervollständigt ist, die Scheibe C samt dem Magnetgehäuse so lange, bis der magnetische Meridian ungefähr erreicht ist; alsdann kann man es folgendermassen erreichen, dass die Magnetachse ab und die ihr parallele

Fernrohrachse ganz genau in diese Ebene fallen. Senkrecht unter dem Magnetstäbchen ist ein Planspiegel angebracht, dessen Ebene senkrecht zur Achse steht[1]; ferner befindet sich im Brennpunkte des Fernrohres eine Glastafel, in deren Mitte ein feiner senkrechter Strich eingeritzt ist. Nun sieht der Beobachter erstens diesen letzteren, zweitens aber auch dessen Bild im Spiegel, und es gelingt ihm unschwer, mittelst der Schraube T, beide Parallellinien gerade zur Deckung zu bringen. In dem Augenblicke, da dies eintritt, wird geklemmt und abermals jeder der beiden Nonien verglichen; wenn diesmal β und β' die beiden Ablesungen sind, so kann, unter ε den bekannten Horizontalbogen verstanden, welcher zwischen dem zuerst anvisierten Punkte und dem Nordpunkte liegt, die gesuchte Deklination gleich

$$\alpha - \beta \pm \varepsilon = \alpha' - \beta' \pm \varepsilon$$

gesetzt werden. Darüber, ob ε mit dem Plus- oder Minuszeichen in Rechnung zu bringen sei, kann für den Beobachter ein Zweifel nicht obwalten.

Methoden zur Bestimmung der Inklination. Der nächstliegende Gedanke ist es jedenfalls, ein *Inklinatorium* anzuwenden, wie es seit der Zeit *D. Bernoulli*s und des von ihm unterstützten Baseler Mechanikers *Dietrich* zu den notwendigen Inventarstücken eines jeden physikalischen Kabinettes gehört. Ein geteilter Kreis wird in die Ebene des magnetischen Meridianes gebracht, und eine um den Kreismittelpunkt in dieser Ebene frei schwebende Nadel gestattet die unmittelbare Ablesung des Neigungswinkels. Wenn auch noch sehr roh, war doch schon in ähnlicher Weise der Apparat ausgeführt, mittelst dessen *G. Hartmann* im Jahre 1544 zuerst das Vorhandensein der Inklination erkannt hatte. An Instrumentfehlern ist allerdings bei diesem direkten Messungsverfahren kein Mangel, aber *Leyst* hat gezeigt, dass man dieselben durch Rechnung und mechanische Vorkehrungen beinahe gänzlich unschädlich machen kann; insbesondere thut man gut, als Zeigernadel nur ein ganz kurzes Magnetstäbchen zu wählen und dieses durch Ansatzglieder aus unmagnetischem Stoffe nach Bedürfnis zu verlängern[2].

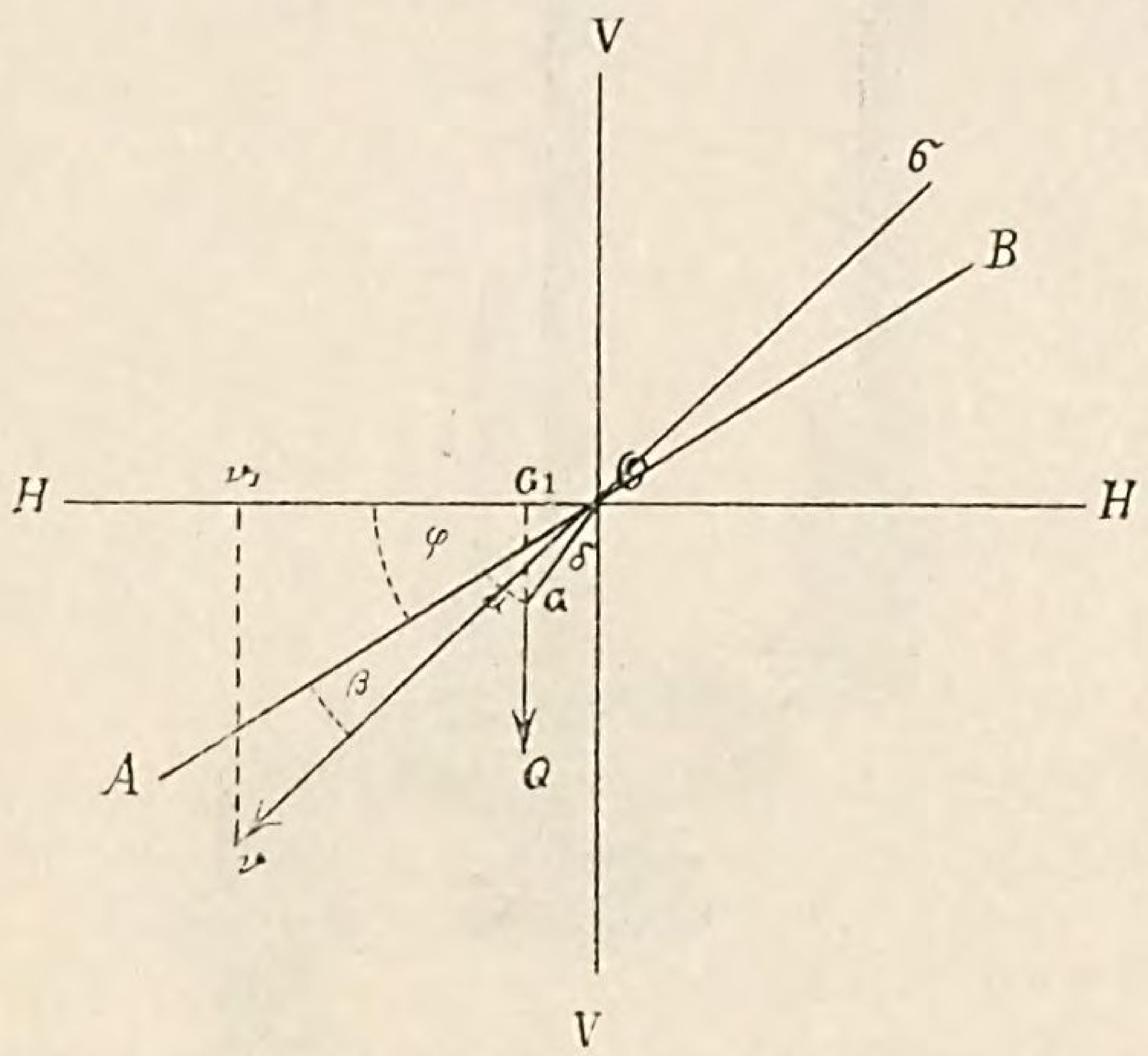
[1]) Die Vertauschung von oben und unten muss, wenn man ganz sicher gehen will, auch bei dieser Art der Messung zur Anwendung kommen. Aus diesem Grunde sieht man sowohl ober- als auch unterhalb des Magnetstabes einen Haken, an welchem man Stab und Spiegel in den tragenden Kokonfaden einhängen kann; dass das zweite Mal der Spiegel dann über den Magnetstab zu stehen kommt, ändert natürlich nichts an der Sache.

[2]) Soll die Nadel niemals abgehoben, ummagnetisiert u. dgl. werden, so beobachtet man nach *Lamont* die Stellung derselben erst für sich und alsdann unter der Einwirkung eines jene umkreisenden galvanischen Stromes. HH (*Fig. 67*) sei die Horizontale, VV die durch den Mittelpunkt O der Nadel $\nu\sigma$ gehende Vertikale, AB die mit der Achse voraussichtlich nicht ganz genau zusammenfallende Verbindungslinie der Spitzen, G der Schwerpunkt, in dem das Gewicht Q der Nadel angreift. Von G und ν seien auf HH resp. die Lote GG_1 und $\nu\nu_1$ gefällt; die Bedeutung der Winkel α, β und φ ist der Figur zu ent-

Lamont hat seinen Reisetheodoliten so aptiert, dass mit demselben gleichzeitig Inklination und Intensität, welche beide Elemente sich uns ja als sehr nahe verwandte dargestellt haben, gemessen werden können. Es wird zu dem Ende das uns bekannte Magnetgehäuse mit der *Inklinationsvorrichtung* (*Fig. 68*) ausgerüstet, welche in letzter Instanz auf der von *Brugmans* und *Lloyd* gemachten Entdeckung beruht, dass, wie schon oben beim Schiffsmagnetismus gesagt ward, die magnetische Kraft der Erde in weichem Eisen Magnetismus induziert. Ein massiver Messingring, überall gleich dick, wird auf die Scheibe des Theodoliten aufgesetzt, und an zwei um 180° abstehenden Punkten dieses Ringes sind in der aus unserer

nehmen. Das statische Moment der Schwere ist $OG_1 \cdot Q$, dasjenige der vertikalen Komponente des Erdmagnetismus $O\nu_1 \cdot M$, dasjenige der horizontalen

Fig. 67.



Komponente $\nu\nu_1 \cdot M$, wenn M dem magnetischen Gesamtmomente entspricht. Wenn nach $GO = \delta$ gesetzt wird, lautet also die Hebelgleichung

$$Q\delta \cos(\alpha + \varphi) + MY \cos(\beta + \varphi) = MX \sin(\beta + \varphi).$$

Lamont zeigt dann, dass, wenn man einen kreisförmigen Stromleiter (vom Radius r), dessen Ebene der Drehungsachse parallel ist, um die Nadel führt und einen Strom hindurchgehen lässt, dem die Stärke i zukommt, je nachdem dessen Richtung die eine oder andere ist, X um den Betrag $\pm \frac{2\pi i}{r}$ sich ändert. Auch der Winkel φ wird ein anderer, was wir durch Indizes andeuten, und so erhält man zwei neue Gleichungen:

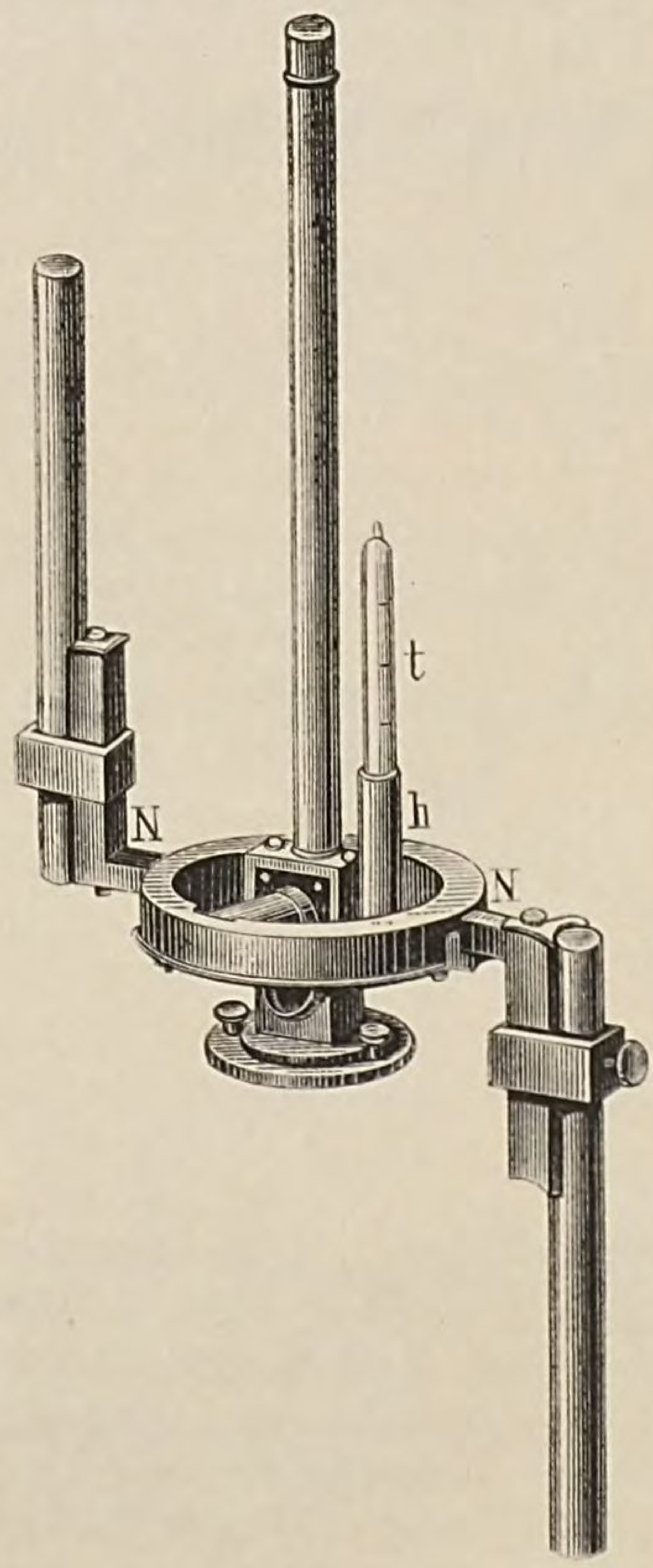
$$Q\delta \cos(\alpha + \varphi_1) + MY \cos(\beta + \varphi_1) = M\left(X + \frac{2\pi i}{r}\right) \sin(\beta + \varphi_1);$$

$$Q\delta \cos(\alpha + \varphi_2) + MY \cos(\beta + \varphi_2) = M\left(X - \frac{2\pi i}{r}\right) \sin(\beta + \varphi_2).$$

Wäre β klein genug, um vernachlässigt werden zu können, so blieben nur die drei Unbekannten M, X und Y übrig, und aus diesen beiden letzteren ginge wiederum $\operatorname{tang} J = Y : X$ hervor.

Zeichnung ersichtlichen Weise mittelst der Klemmvorrichtungen N zwei nach Gestalt, Grösse und Beschaffenheit genau gleiche Eisenzylinder angebracht. Bevor diese Vorrichtung aufgesetzt wird, muss sich das Instrument in dem uns bekannten Normalzustande befinden, d. h. es müssen der bewusste Glasstrich und sein Spiegelbild koinzidieren. Alsdann wird der Ring aufgelegt, und zwar so, dass die Verbindungslinie NN auf den magnetischen Meridian gerade senkrecht zu stehen kommt. Jetzt lenken die beiden Magnetpole den

Fig. 68.



hängenden Magnetstab ab und es tritt eine neue Ruhelage ein, die man ermittelt, indem man das Magnetgehäuse bis zu abermaliger Koinzidenz der beiden Striche um einen Winkel v dreht. Die Grössen X, Y und J sollen die uns bereits geläufigen sein; dann kann man die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den aus dem magnetischen Meridiane herausgedrehten Stab in diesen zurückzuführen trachtet, gleich $X \sin v$ und das Drehungsmoment des in den Eisenzylindern induzierten Magnetismus gleich KY setzen, wo K eine empirisch zu bestimmende Konstante bedeutet. Da im Augen-

blicke Gleichgewicht besteht, so muss bezüglich $X \sin v = KY$, also auch

$$X \sin v = KX \operatorname{tang} J,\ J = \operatorname{arc\,tang} (\sin v : K)$$

sein. Die Konstante K ist bekannt, sobald man für irgend einen Ort die Inklination J_1 direkt gemessen hat; denn wenn in diesem Falle die Ablenkung v_1 gemessen ward, so hatte man ja $K = \sin v_1 \,.\, \operatorname{cotang} J_1$. Uebrigens bedarf jedes solchergestalt gefundene Resultat noch einer *Temperaturkorrektion*, weil die Stärke der magnetischen Induktion mit der Wärme wechselt, und es ist deshalb die Beigabe einer Hülse h unerlässlich, in welche ein Thermometer t gesteckt werden kann.

Von den indirekten, die induzierende Wirkung des tellurischen Magnetismus zu Hilfe nehmenden Methoden ist wohl die einfachste diejenige von *Leonhard Weber*, der einen sogenannten *Erdinduktor* konstruiert hat. Von zwei genau übereinstimmenden Induktionsrollen hat A eine horizontale, B eine vertikale Achse, und um diese Drehungsachse wird jede der Rollen, und zwar um 180°, gedreht. Da in Europa $Y > X$ ist, so induziert Y in A einen stärkeren Strom, als X in B; die induzierten Ströme sind ungleich, können aber dadurch, dass man in den Stromkreis A einen Widerstand einschaltet, gleich gemacht werden. Wenn F und G die Windungsflächen der Rollen A und B vorstellen, wenn ferner W_A und W_B die Gesamtwiderstände in beiden Stromkreisen bedeuten, so gilt im Falle der Gleichheit der Stromstärke nach einem bekannten Satze der Elektrizitätslehre die Proportion

$$YF : XG = W_A : W_B.$$

F und G können aber als gleich angenommen werden, und man erhält folglich durch eine verhältnismässig einfache Widerstandsmessung mit dem Galvanometer

$$\operatorname{tang} J = \frac{Y}{X} = \frac{W_A}{W_B}.$$

Methoden zur Bestimmung der Intensität. Die weitaus älteste Methode, wo nicht ein direktes Mass für die Gesamtstärke der magnetischen Erdkraft zu finden, so doch die Intensitäten zweier distanter Erdorte mit einander zu vergleichen, ist diejenige der *Schwingungsbeobachtungen*. Schon 1723 verfolgte *Graham* in diesem Sinne die Oszillationen seiner Neigungsnadel, und 1769 glaubte *Mallet*, was freilich von der Wahrheit weit abwich, auf eben diesem Wege die Gleichheit der Intensität für St. Petersburg und Ponoi (in Lappland) nachgewiesen zu haben. Der Grundgedanke ist hier ein ganz ähnlicher, wie er bei der Schweremessung mit dem Pendel (S. 29) schon an uns herangetreten ist. Man bringt an den beiden Orten, für welche man die Horizontalintensitäten X_1 und X_2 vergleichen will, eine an ungezwirntem Faden aufgehängte Deklinationsnadel um gleich viel aus ihrer Ruhelage (im magnetischen Meridiane) heraus und zählt die Anzahl der Schwingungen während der

nämlichen Zeit. Sind resp. n_1 und n_2 diese Anzahlen, so ergibt das Pendelgesetz, dass sich $X_1 : X_2 = n_1{}^2 : n_2{}^2$ verhält.

In wesentlich gleicher Weise wurden die zahlreichen Messungen angestellt, mit welchen *Borda, Humboldt* u. a. die Wissenschaft bereichert haben. Erst *Gauss* leitete einen sehr wichtigen Fortschritt ein, zunächst durch die Einführung des *absoluten Masses*, dann aber dadurch, dass er die *unifilare* durch die *bifilare Aufhängung* ersetzte. Bei ersterem dürfen keine anderen Masseinheiten zur Verwendung kommen, als für die Länge das *Millimeter*, für das Gewicht, resp. die diesem proportionale Masse das *Milligramm* und für die Zeit die *Sekunde.* Das Wort *Intensität der magnetischen Erdkraft* ist jetzt einer exakten Bestimmung fähig: es ist das Drehungsmoment, welches die Erde als Magnet einer die Einheit des freien Magnetismus in sich tragenden, zur Richtung der Kraft senkrecht stehenden Magnetnadel erteilt. Mit der bifilaren Aufhängung hat es die nachstehende Bewandnis. Ein parallelepipedischer Magnetstab hängt an zwei gleichlangen Fäden so von einer horizontalen Ebene herab, dass die Befestigungspunkte zu beiden Seiten des Schwerpunktes jenes Stabes symmetrisch liegen. Wenn man den Stab dreht, so verlieren die Fäden ihren bisherigen Parallelismus, und der Körper wird durch ein Drehungsmoment in seine frühere Lage zurückzubringen gesucht, welches dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional ist. *Gauss* nahm an, dass die anfängliche Vertikalebene der beiden Tragfäden senkrecht auf dem magnetischen Meridiane stehe. Die nähere Erörterung des Beobachtungsverfahrens kann an dieser Stelle nicht Platz finden, da sie umfängliche Darlegungen aus der Physik selbst zur Voraussetzung hat. Von *Wild* ist die *Gauss*sche Methode noch in der Weise verbessert worden, dass auch der Torsion der Aufhängedrähte sowie der induzierenden Wirkung des Erdmagnetismus Rechnung getragen wurde.

Das von *Gauss* angegebene *Bifilarmagnetometer* dient, wie wir sahen, wesentlich zur Bestimmung der Horizontalkomponente. Ein gleiches soll für die Vertikalkomponente das *Quadrifilarmagnetometer* leisten, welches von *E.* und *K. Schering* 1882 in dem unterirdischen Beobachtungsraume der Göttinger Sternwarte angebracht worden ist. Als Hauptvorzug dieser Aufhängung des schwingenden Magnetstabes an vier Fäden wird der namhaft gemacht, dass bei dieser Anordnung eine von den störenden Einflüssen der Reibung vollständig freie Drehungsachse erzielt werden könne.

Vielleicht die feinste aller zur Ermittlung der Grösse X (s. o.) vorgeschlagenen Methoden ist diejenige der *Wägung* von *Toepler.* In der Mitte des Balkens einer gewöhnlichen zweiarmigen Wage von grosser Feinheit wird ein Magnet angebracht, dessen Moment M bekannt sein muss. Die Belastung Q_1, bei welcher derselbe lotrecht steht, ist verschieden von der Belastung Q_2, bei welcher ein Gleiches dann geschieht, wenn inzwischen das ganze System um einen lotrechten Zapfen gedreht worden war. Wenn dann noch l die Länge des Wagebalkens bezeichnet, so kann mit grosser Annäherung

$$2\,MX = l\,(Q_1 - Q_2)$$

gesetzt werden. *C. L. Weber* hat *Toeplers* permanenten Magnet durch eine Stromspule ersetzt und auch einen ganz neuen Apparat erdacht, um mittelst des galvanischen Stromes Inklination und Intensität gleichzeitig zu bestimmen.

Zeitliche Veränderungen der erdmagnetischen Elemente. Kein magnetisches Element ist für den nämlichen Ort konstant; jedes unterliegt vielmehr seiner Grösse nach Veränderungen, welche von der *Zeit* abhängig sind. Man hat dabei jedoch zwischen *periodischen* und *säkulären Schwankungen* zu unterscheiden, welche letztere selbst wieder zum teile schon als periodische von sehr grosser Amplitude erkannt worden sind, zum teile vielleicht noch dieser Kategorie werden eingereiht werden können. Um insbesondere die *täglichen Veränderungen* kontrollieren zu können, hat man allgemein das von *Humboldt* ins Leben gerufene System der *Termintage* und *Terminbeobachtungen* adoptiert. Alle über einen möglichst grossen Teil der Erdoberfläche zerstreuten Beobachter verständigen sich darüber, dass an bestimmten *äquidistanten* Tagen ununterbrochen oder doch zum wenigsten gewisse vorher verabredete Stunden hindurch der bewegliche Körper mittelst des Fernrohres verfolgt werde, welcher die Veränderungen des fraglichen Elementes signalisiert [1]). Für die Deklination reicht eine am besten mit *Poggendorffscher Spiegelablesung* [2]) versehene Unifilarnadel aus; vorteilhafter noch wird das *Gauss*sche Bifilarmagnetometer (s. o.) [3]) verwendet, weil dasselbe gleichzeitig die Aenderungen im Betrage der Deklination sowie auch der erdmagnetischen Horizontalkomponente zu messen gestattet. Als Variationsinstrument endlich für die Vertikalkomponente und damit zugleich auch für die Inklination ist die *Schering*sche Quadrifilarwage (s. o.) zu empfehlen. Von England ist neuerdings die Anregung ausgegangen, *die Photographie in den Dienst der magnetischen Variationsbeobachtungen zu stellen. Börgen* gab vor ein paar Jahren an, dass auf zwölf Observatorien — Kew, Greenwich, Stonyhurst, Paris, Lissabon, Utrecht, Wilhelmshaven, Wien, Pawlowsk, Melbourne, Zi-ka-wei in China und San Diego in

[1]) Von Interesse ist bei diesen Terminbeobachtungen das häufig ganz oder doch nahezu synchron sich ereignende Eintreten grösster Unruhe der Nadel an den verschiedenen Beobachtungsplätzen. *Humboldt* nannte diese Erscheinung ein *magnetisches Ungewitter* und ahnte auch bereits die — allerdings nicht alleinige — Ursache solch jäher Unterbrechungen des geomagnetischen Normalzustandes.

[2]) Der schwingende Körper trägt bei diesem Beobachtungsmodus einen auf seiner Längsachse normal stehenden Spiegel; herrscht Ruhe, so erblickt der in ein entfernt aufgestelltes Fernrohr Blickende in diesem Spiegel gerade den in die Rohrachse fallenden Nullpunkt einer gradlinigen, auf dem Fernrohre senkrecht angebrachten Skale. Wenn sich dann der bewegte Körper aus seinem Ruhestande entfernt, so erscheint ein anderer Skalenteil, nämlich b, beim Spiegelbilde; ist m die Entfernung zweier Skalenteile, a die Distanz des Nullpunktes vom Spiegelmittelpunkte, φ der Ablenkungswinkel, so besteht aus optischen Gründen diese Relation: $\operatorname{tang} 2\varphi = bm : a$.

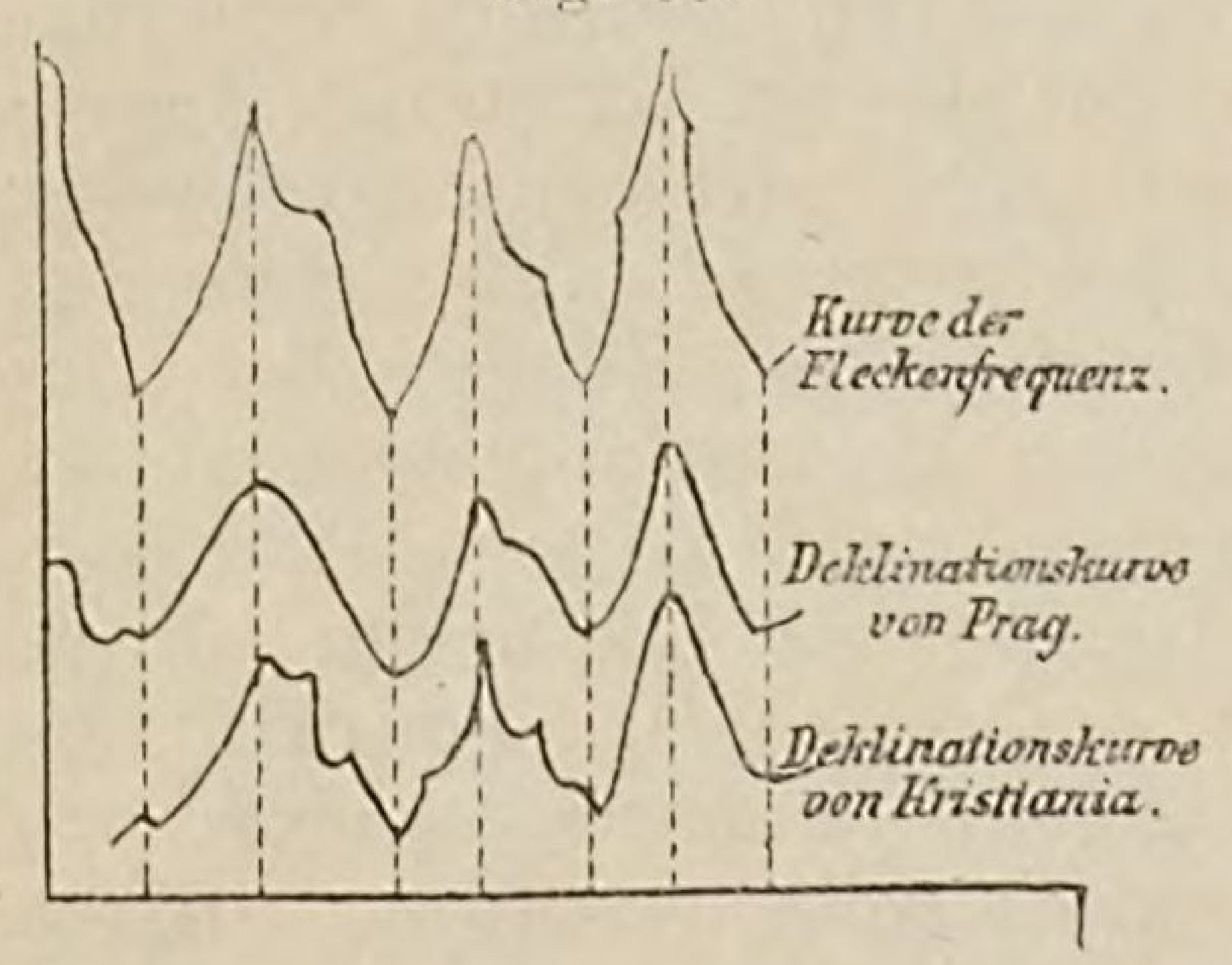
[3]) Unbedingt notwendig ist es, eine Temperaturkompensation *rechnerisch* oder, wie *Liznar* gelehrt hat, auch *mechanisch* vonvornherein anzubringen.

Kalifornien — die automatische Registrierung des Ganges der Deklinationsnadel auf photographischem Papiere erfolge, und seitdem dürfte sich die Zahl der hierfür thätigen Beobachtungsstationen wohl noch vermehrt haben.

Die täglichen Oszillationen sind zweifellos durch den Temperaturgang mit bedingt, obwohl die betreffenden Beziehungen noch keineswegs vollständig überblickt werden können. Das *tägliche Deklinationsminimum* fällt ungefähr auf 9^h vormittags, das *tägliche Deklinationsmaximum* auf 3^h nachmittags. Schwieriger sind die Verhältnisse im Gange der Inklination und der ein wesentlich analoges Verhalten bekundenden Intensität zu entwirren. Auf Tasmanien z. B. variiert auch die Intensität zwischen zwei absoluten, den Zeiten 5^h früh und 8^h abends entsprechenden Extremen, während für Toronto (Kanadien) je zwei *Hauptmaxima* und *Hauptminima* aus *Sabine*s Beobachtungstabellen zu folgen scheinen.

Durch die vereinten, wennschon unter sich so gut wie unabhängigen Bemühungen von vier Forschern, *R. Wolf, Sabine, Gautier* und *Lamont*, wurde zu Beginn der fünfziger Jahre dieses Jahrhunderts eine hochwichtige, seitdem durch eine Fülle von neuen Beobachtungen bestätigte Wahrheit erkannt: *Der Gang der Sonnenfleckenfrequenz* [1] *und der Gang der magnetischen Variationen auf der Erde bethätigen ein wesentlich analoges, d. h. im geometrischen Sinne durch parallele Kurvenzüge darstellbares Verhalten, und zwar kehren gleiche Phasen in beiden Erscheinungskomplexen nach jeweiligem Umflusse von angenähert 11,1 Jahren wieder.* Dieser kürzeren und absolut sicher gestellten Periode, welche durch den in *Fig. 69* zur Anschauung gebrachten Spezialfall erläutert werden mag, lassen sich, wie es scheint, mit der Zeit noch grössere Zeiträume zur Seite stellen, innerhalb deren ebenfalls Fleckenfrequenz und magnetische Variationen sich immer in gleichem Sinne ändern [2].

Fig. 69.



Räumliche Veränderung der erdmagnetischen Elemente; magnetische Kurven. Jede Ortsveränderung auf der Erde bringt auch eine Veränderung im Werte *von mindestens zwei*

[1]) An und für sich sind die momentane Bedeckung der Sonnenscheibe mit Flecken und der wechselnde Betrag eines magnetischen Elementes ganz unvergleichbare, auf kein gemeinsames Mass zurückzuführende Dinge. *Wolfs Relativzahlen* jedoch haben eine solche Vergleichbarkeit ermöglicht.

[2]) Auch eine *26tägige, von der Sonnenrotation* abhängige Periodizität im Verhalten des Erdmagnetismus ist von *Allan Broun*, *Hornstein* und *Liznar* sehr wahrscheinlich gemacht, von *A. Schmidt* sodann rechnerisch als wirklich existierend nachgewiesen worden.

magnetischen Elementen mit sich. Um diese Veränderungen besser zu übersehen, konstruiert man gewisse krumme Linien, durch welche auf der Erdoberfläche jeweils alle diejenigen Punkte verbunden werden, für welche sämtlich ein gewisses Element den nämlichen Wert besitzt. Der Anzahl dieser Bestimmungsstücke des terrestrischen Magnetismus entsprechend muss es auch drei *Systeme von magnetischen Kurven* geben.

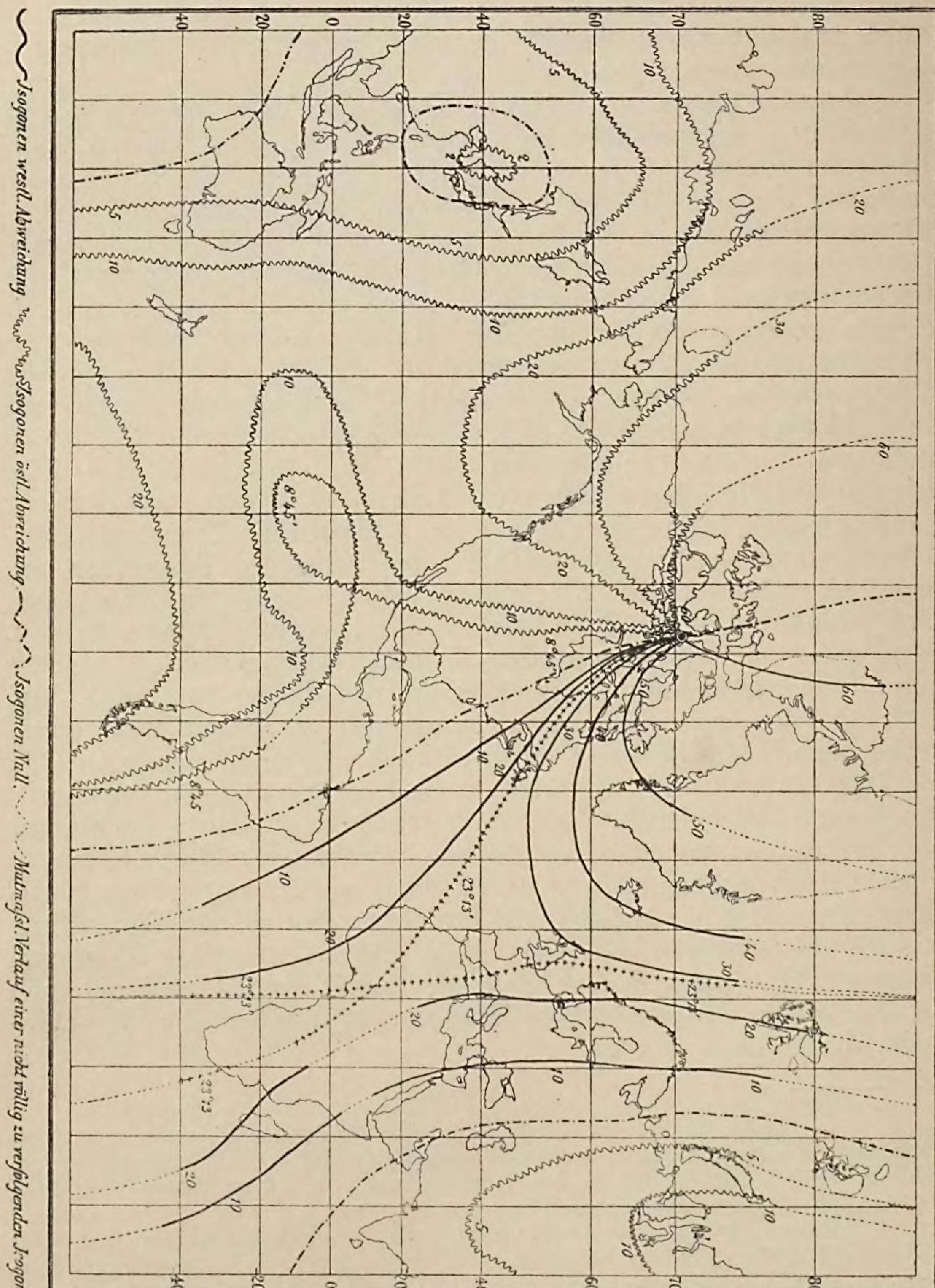
Isogonen (γωνία, der Winkel) nennt man die *Ortskurven gleicher Deklination.* Man ersieht aus *Andrade Corvo*s Forschungen, dass die ersten Versuche, Isogonenkarten von Teilen der Erde, resp. besonders von den Meeren zu entwerfen, von portugiesischen Seefahrern unternommen worden sind [1]; *João de Castro* hat bereits 1538, als er von Lissabon nach Goa fuhr, diese wichtige nautische Verbindungslinie magnetisch zu kartieren gesucht. Später war der Engländer *Burrough* für dieselben Zwecke thätig, und die erste Gesamtkarte der „*lineae chalyboeliticae*“ (χάλυψ, der Stahl) findet sich in *Kircher*s „*Magnes*“ (Rom 1641). Dieselbe wurde jedoch bald durch *Halley*s Isogonenkarte (1701) in den Schatten gestellt. *Fig. 70* stellt den Verlauf der Isogonen dar [2]. Man bemerkt, dass diese Kurven den Meridianen sich nur wenig anschmiegen, dass vielmehr im Pazifischen Meere ebenso wie im nordöstlichen Asien eigentümliche Systeme von geschlossenen Ovalen auftreten. Abgesehen von diesen Ausnahmestellen konvergieren die Isogonen dagegen gegen zwei Erdpunkte, denen deshalb eine gewisse Auszeichnung zukommt. Man nennt sie die *magnetischen Erdpole.* Derjenige Pol, welcher der nördlichen Halbkugel angehört, ist von *James Ross* am 1. Juni 1831 auf der der sogenannten „nordwestlichen Durchfahrt“ zuzurechnenden Insel „Boothia Felix“ wirklich aufgefunden worden (70° 5′ 17″ n. Br.; 96° 46′ 45″ w. L. v. Gr.), während der antarktische Magnetpol hinter den furchtbaren Eisbarrièren gesucht werden muss, welche den von manchen Geographen vermuteten Südpolarkontinent unzugänglich machen. Der Abstand der magnetischen und geometrischen Pole ist ein ziemlich beträchtlicher. Sowohl für die östliche wie für die westliche Hälfte der Erde gibt es, wie unser Diagramm erkennen lässt, eine *Isogone Null* oder *Linie ohne Abweichung*, und an sämtlichen Punkten dieser Kurve weist folglich die Kompassnadel direkt nach Norden.

[1] Die Ziele, welche man bei diesen ersten tastenden Versuchen im Auge hatte, waren allerdings rein praktische: man hing der freilich keiner Verwirklichung fähigen Idee nach, in den Isogonenkarten ein unfehlbares Mittel zur Bestimmung der geographischen Länge zu erhalten.

[2] Die vier Diagramme der Magnetkurven beziehen sich auf das *Gausssche Normaljahr 1835.* Seitdem hat man die Rechnungen und Beobachtungen verbessert, auch hat sich die erwähnte zeitliche Veränderung geltend gemacht, und die für 1890 gezeichneten Karten würden manche Veränderung erkennen lassen, wie denn z. B. die von *Gauss* als sich selbst durchschlingende merkwürdige Isogone von 23° 13′ dieser ihrer theoretischen Eigenschaft verlustig erscheinen und in zwei allerdings fast sich berührende Kurvenzüge zerfallen würde. Zur allgemeinen Orientierung jedoch sind die gewählten Kartenbilder sehr geeignet.

Isoklinen (κλίνειν, sich neigen) nennt man die *Ortskurven gleicher Inklination.* Auf den Gedanken, die räumlichen Veränderungen der

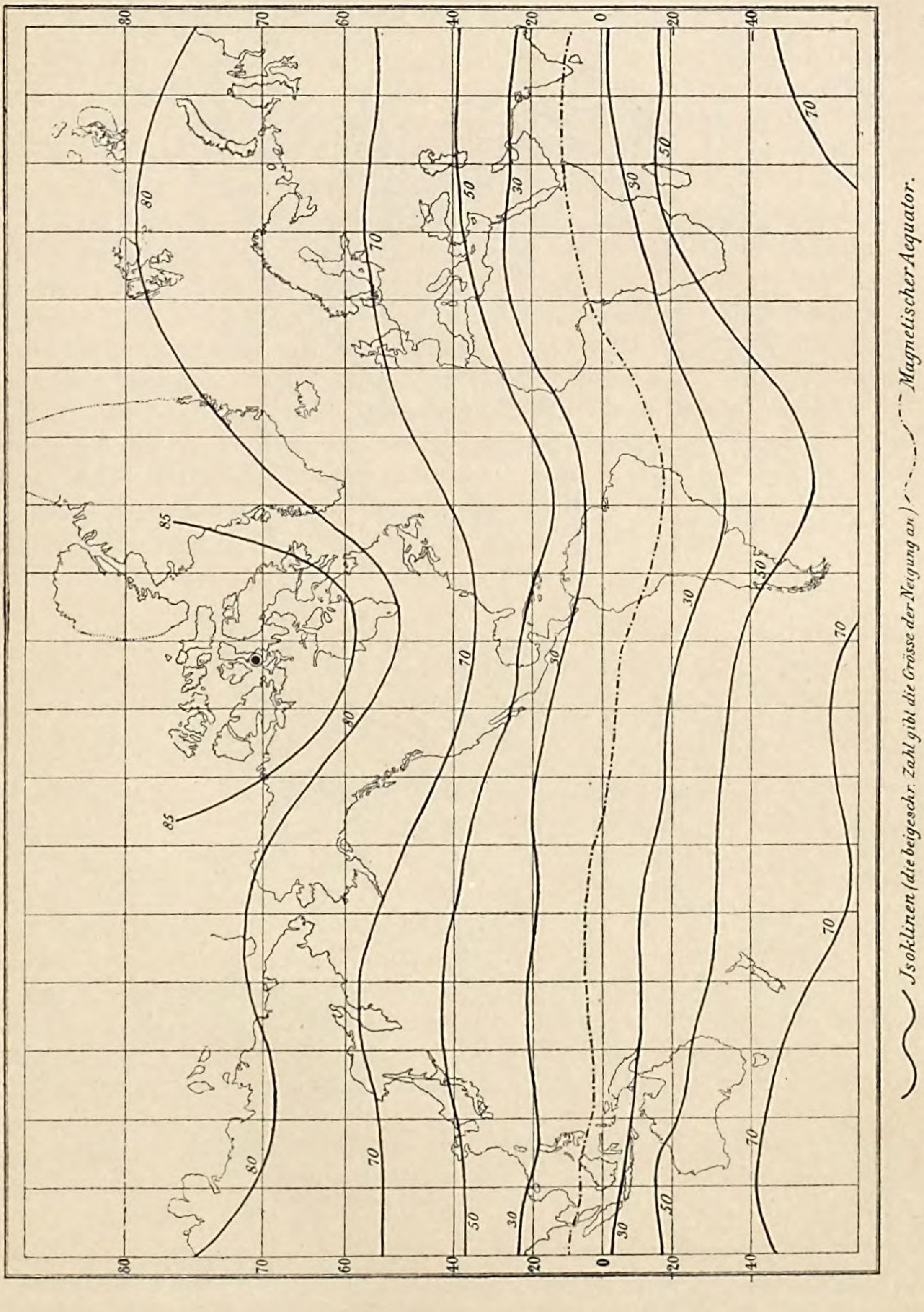
Fig. 70.



Neigung durch ein bezügliches Kurventableau zu veranschaulichen, ist zuerst *Wilcke* 1768 verfallen. Aus *Fig. 71* erhellt, dass die Isoklinen in niedrigen und mittleren Breiten einen im wesentlichen

den Parallelkreisen angepassten Lauf haben, und dass erst gegen die Pole hin die Amplituden ihrer Wellenzüge kräftiger werden.

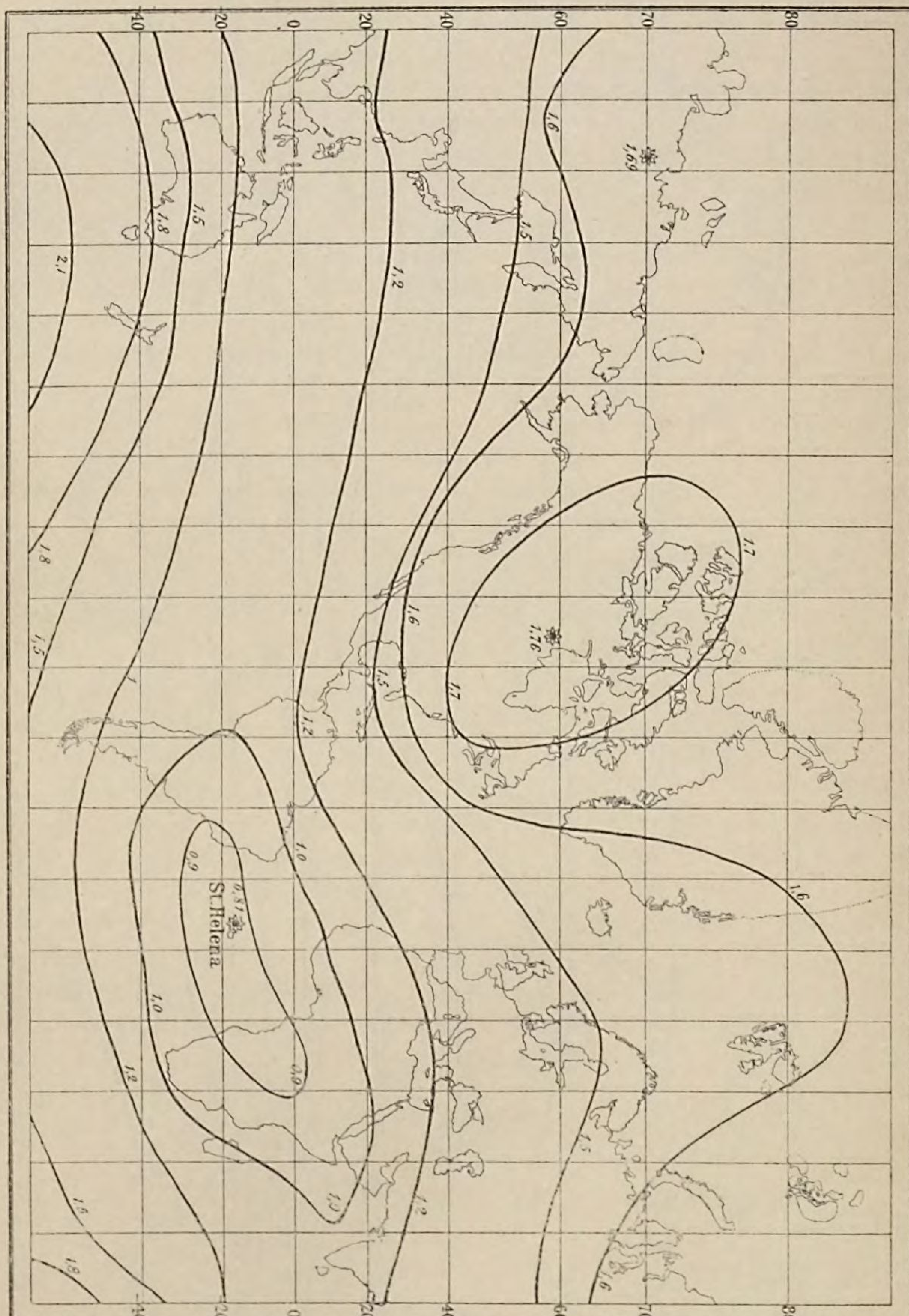
Fig. 71.



An den Magnetpolen muss sich die Nadel senkrecht zur Horizontalebene einstellen, wie denn auch in der That durch dieses Kennzeichen *Ross* (s. o.) zu seiner grossen geographischen Entdeckung

geführt worden ist. Zu den Polen tritt als Gegensatz der *magnetische Aequator* hinzu, jene Linie, für deren sämtliche Punkte die

Fig. 72.



Isodynamen. ✲ Punkte relativer maximaler u minimaler Totalintensität.

Inklinationsnadel genau wagrecht steht. *Duperrey* und *Sabine* haben sich viele Mühe gegeben, den Verlauf dieses Aequators auf langwierigen Seereisen zu erforschen, und es ist durch sie auch ermittelt

worden, dass sich der magnetische und der geometrische Erdäquator in *vier*, nicht bloss in *zwei* Punkten durchschneiden.

Isodynamen (δύναμις, die Kraft) nennt man die *Ortskurven gleicher Intensität*. Schon *Humboldt* studierte diese Linien, für deren Konstruktion aber erst durch die von *Gauss* geschaffene Definition des absoluten Masses (s. o.) die sichere Grundlage gewonnen worden ist. Sehr beachtenswert ist die von *Sabine* aufgefundene Thatsache, dass der *dynamische Aequator*, d. h. jene Linie, welche die Punkte absolut schwächster magnetischer Erdkraft auf jedem geographischen Meridiane verbindet, keineswegs mit dem vorhin gekennzeichneten magnetischen Aequator übereinstimmt. *Brennpunkte der Intensität*, in denen dieses Element somit zu einem relativen Maximum ansteigt, scheinen dagegen vier vorhanden zu sein. Vgl. *Fig. 72*, auf welcher zwei dieser Punkte verzeichnet stehen. — Da, wie wir erfuhren, jedes erdmagnetische Element zeitlichen Veränderungen unterworfen ist, so gilt ein gleiches natürlich auch für die magnetischen Linien. Jede Karte derselben kann und will also auch nur die Bedeutung eines *Momentanbildes* beanspruchen [1]). Deshalb sind von Zeit zu Zeit immer wieder magnetische Neuaufnahmen einer jeden Erdgegend notwendig, wie eine solche kürzlich erst mit grosser Energie von *Schaper* für das ganze Küstengebiet Deutschlands zwischen den Mündungen der Elbe und der Oder durchgeführt worden ist.

Theorie des Erdmagnetismus. Wenn wir von einer *Theorie der geomagnetischen Erscheinungen* sprechen, so müssen wir uns hüten, zwei Begriffe zu verwechseln, auf welche die genannten Worte sich mit einigermassen gleichem Rechte beziehen lassen. In früherer Zeit freilich lag eine solche Verschiedenheit nicht vor; *man stellte eine Hypothese für die Ursache der fraglichen Phänomene auf und suchte alsdann die mathematische Einkleidung dieser Hypothese mit den Beobachtungen in Einklang zu setzen.* Gegen hundert Jahre lang hielt man mit Zähigkeit daran fest, dass ein *im Inneren der Erde verborgener Magnetstab*, dessen Lage und Dimensionen man mehr oder weniger willkürlich annahm, die uns bekannten Aeusserungen und Bethätigungen der erdmagnetischen Kraft veranlasse; *Euler*, *Tob. Mayer*, *Mollweide* und vor allem der Norweger *Hansteen* entwickelten zur Darstellung dieser Kraft umfängliche Formelnsysteme, denen heutzutage kein sachlicher Wert mehr zuerkannt werden kann [2]).

Völlig anders lehrte uns *Gauss* das in Rede stehende Problem auffassen, und seine Auffassung hat, obwohl sie den Gegenstand

[1]) Der von *Menzzer* gegebenen Anregung, die Lage der Isogonen u. s. w. theoretisch durch Voraussetzungen über die unseren Erdball umkreisenden elektrischen Ströme zu bestimmen, ist noch wenig näher getreten worden. Aussichtslos sind nach *Neumayers* Ansicht diese Bestrebungen nicht zu nennen, doch ist bestenfalls die Zeit für deren Realisierung noch nicht gekommen.

[2]) Auch später sind von *Raulin*, *Roche* u. a. Ansichten ausgesprochen worden, welche lebhaft an jene hinter uns liegende Periode erinnern.

durchaus nicht allseitig zu erschöpfen beabsichtigt, bis heute ihr Recht behauptet. *Von jeder Spekulation, worauf wohl der Erdmagnetismus zurückzuführen sei, wird abstand genommen; Gauss* genügt es, Ausdrücke aufgestellt zu haben, welche, wenn eine kleine Anzahl von empirischen Konstanten gegeben vorliegt, jedes der drei Elemente für einen beliebigen, durch seine geographische Breite und Länge bestimmten Erdort *a priori* zu berechnen gestatten. Wie die massgebenden Kräfte etwa im Erdinneren verteilt sein mögen, danach wird gar nicht gefragt, vielmehr wird diesen unbekannten Agentien eine — vielleicht bloss fiktive, jedenfalls zunächst in dieser Form nicht beweisbare — Verteilung der magnetischen Kraft längs der Erdoberfläche substituiert, von der sich beweisen lässt, *dass sie die magnetischen Instrumente genau in derselben Weise beeinflusst, wie es eben der Erdmagnetismus selbst thut.* Das entscheidende Hilfsmittel gewährt die Einführung einer Grösse, welche das *magnetische Erdpotential* genannt wird und in seiner Weise, nur von der Art der Kraftäusserung abgesehen, genau dasselbe bedeutet, wie das uns von früher her (S. 46) bekannte Potential der Schwerkraft. Wenn irgend ein der Erde (dies Wort im weitesten Sinne genommen) angehöriger Punkt vom Mittelpunkte der kugelförmig (vom Radius r) angenommenen Erde den Abstand ρ hat, so kann das Potential V durch eine unendliche, aber ziemlich rasch konvergierende Reihe von der Form

$$a + b\left(\frac{r}{\rho}\right) + c\left(\frac{r}{\rho}\right)^2 + d\left(\frac{r}{\rho}\right)^3 + e\left(\frac{r}{\rho}\right)^4 + f\left(\frac{r}{\rho}\right)^5 + \ldots$$

dargestellt werden; für $r \leqq \rho$, also für den gewöhnlichen Fall, dass der betrachtete Punkt über oder in dem Niveau des Meeres selbst liegt, ist es erlaubt, die obige Reihe bei dem Gliede, bis zu welchem wir sie fortsetzten, abzubrechen [1]). Versteht man ferner unter ξ, η, ζ die resp. im Horizonte nach Norden, im Horizonte nach Westen und vertikal nach unten gerichteten Komponenten der magnetischen Erdkraft, unter x die Deklination, unter J die Inklination, unter X die Horizontalintensität für einen Erdort, der die Breite β und die Länge λ besitzt, so gelten nach *Gauss* die folgenden drei Fundamentalgleichungen:

$$\xi = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dV}{d\beta} = X \cdot \cos x; \quad \eta = - \frac{1}{\rho \sin \beta} \cdot \frac{dV}{d\lambda} = X \sin x;$$

$$\zeta = - \frac{dV}{d\rho} = X \operatorname{tang} J.$$

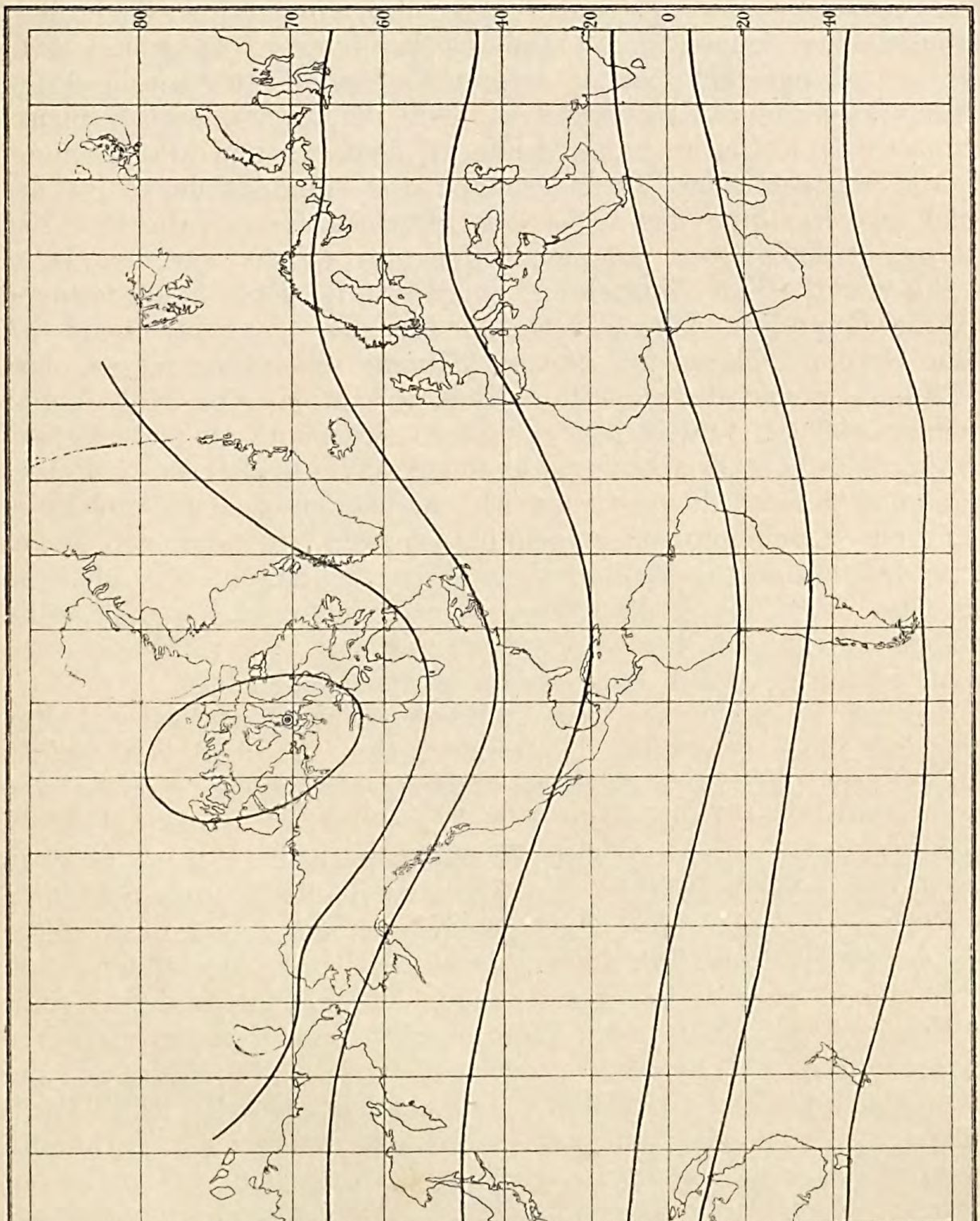
Diese sind es, welche die oben gestellte Aufgabe vollständig lösen: sobald V, ρ, β und λ gegeben sind, kennt man auch X, J, x und $Y = X \operatorname{tang} J$. Es empfiehlt sich deshalb auch, die Verteilung des erdmagnetischen Potentiales V kartographisch zu verfolgen; für die

[1]) Bei der Bearbeitung der neuen magnetischen Karten, welche *Neumayer* 1889 dem Berliner Geographentage vorlegte, ist anscheinend die Notwendigkeit hervorgetreten, die von *Gauss* für zulässig erkannte Beschränkung aufzugeben und bis zur sechsten Potenz des echten Bruches $r : \rho$ fortzuschreiten.

Bestimmung der Deklination ist dies besonders wichtig, denn aus unseren Gleichungen fliesst als Korollar der Satz:

In jedem Orte steht die Deklinationsnadel senkrecht auf der durch jenen Ort hindurchgehenden Kurve konstanten Wertes von V.

Fig. 73.



Ortskurven gleichen magnet. Erdpotentiales.

Man wird diese Thatsache bestätigt finden, wenn man mit *Fig. 70* die nebenstehende *Fig. 73* vergleicht.

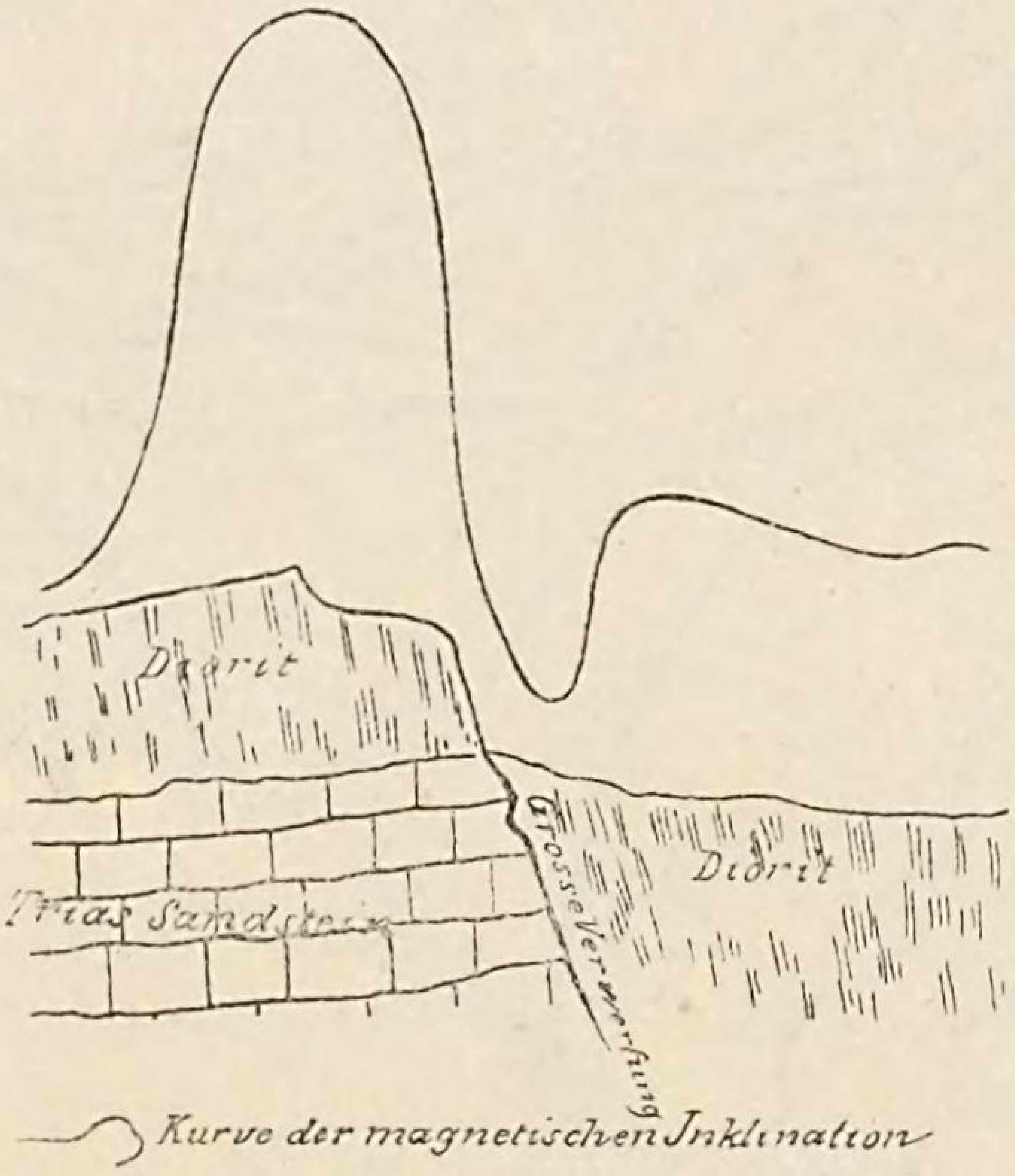
So gross der durch *Gauss* angebahnte Fortschritt in unserer Erkenntnis des Wesens des Erdmagnetismus auch ist, so soll dadurch doch keineswegs der Frage, *wie diese Wirkungen physikalisch zu erklären seien, prädiziert* werden, vielmehr bleibt diese Frage nach wie vor eine offene. Aus verschiedenen Gründen, unter denen der von uns bereits geschilderte *zwiefache Parallelismus* zwischen erdmagnetischen und astronomischen Vorgängen — wechselnde Häufigkeit der Sonnenflecke, Drehung des Sonnenkörpers um seine Achse — obenansteht, ist zu vermuten, dass der tellurische Magnetismus kosmischen Ursprunges sei. An Induktions- resp. Influenzwirkungen ist dabei in erster Linie zu denken, und die Meinung, dass die magnetischen Veränderungen mit Veränderungen in der Stärke und Richtung der Erdströme Hand in Hand gehe (S. 177), wird gegenwärtig ganz allgemein gehegt. Wenn wir demnächst das Polarlicht näher betrachten, werden wir neue Bestätigungen für diese Hypothese kennen lernen. Aus den Untersuchungen der beiden Brüder *William* und *Werner Siemens* scheint zu folgen, dass die Ladung der Erde mit Elektrizität wesentlich eine Konsequenz der unzweifelhaft kräftigen elektrischen Spannung ist, welche auf der Oberfläche der Sonnenkugel herrscht. Wenn aber unser Planet erst einmal elektrisch geworden ist, so werden sich auch elektrodynamische Erscheinungen zeigen müssen, da nach den von *Helmholtz* und *Rowland* angestellten Versuchen mechanisch — in unserem Falle also durch die Erdrotation — fortbewegte Elektrizität völlig dieselben Wirkungen hervorzubringen vermag, wie man sie sonst nur an einem eigentlich elektrischen Strome beobachtet.

Gewiss aber kommen, um die Sache zu einer sehr verwickelten zu machen, noch sekundäre Umstände hinzu. So wird von *Andries* auf die von *Quincke* entdeckten *Diaphragmenströme* hingewiesen, welche durch den Durchgang von Wasser durch poröses Gestein ausgelöst werden, und zu deren Entstehung freilich, wenn man an die nie rastende Zirkulation des Wassers in den oberen Schichten der Erdkruste denkt, tausendfältige Gelegenheit geboten ist. Aber auch *thermoelektrische Ströme* können und werden da zustandekommen, wo plötzliche gewaltsame Aenderungen im Gleichgewichtszustande der Erdrinde auftreten, denn diese werden nach bekannten Sätzen der mechanischen Wärmelehre doch auch stets von Störungen des Wärmegleichgewichtes begleitet. Vulkanausbrüche und Erdbeben[1]) gehören zu den hierbei zunächst in betracht kommenden Vorkommnissen, allein auch anderweite geologische Ursachen sind nicht undenkbar. Nachdem in neuester Zeit *E. Naumann* ein umfassendes Material für eine sachgemässe Erörterung dieser Möglichkeit beigeschafft hat, möchte man sich sogar zu der Aufstellung nach-

[1]) Allerdings ward oben erwähnt, dass mitunter die Einwirkungen solcher Ereignisse auf die Magnetnadel rein mechanischer Natur seien. Allein nach *Palmieri* wird doch eine zeitliche und ursächliche Beziehung zwischen den vulkanischen Bewegungen im Krater des Vesuv und den Schwankungen des Erdstromes im anliegenden Terrain angenommen werden müssen.

stehender These berechtigt glauben[1]): *Allenthalben da, wo namhafte Ungleichförmigkeiten im Bau der Erdrinde sich finden, bemerkt man auch Unterbrechungen im gleichförmigen Verlaufe der magnetischen Kurven, und insbesondere spiegeln sich in deren Zuge häufig die Leitlinien benachbarter grosser Gebirge wieder.* Auf Einzelheiten an diesem Orte einzugehen, ist natürlich nicht möglich, doch sei zur Bekräftigung des ersten Teiles unserer Behauptung auf die eine merkwürdige Anomalie im Verlaufe der Isoklinen am Hudson-River (Nordamerika) darstellende *Fig. 74*, zur Bekräftigung des zweiten

Fig. 74.



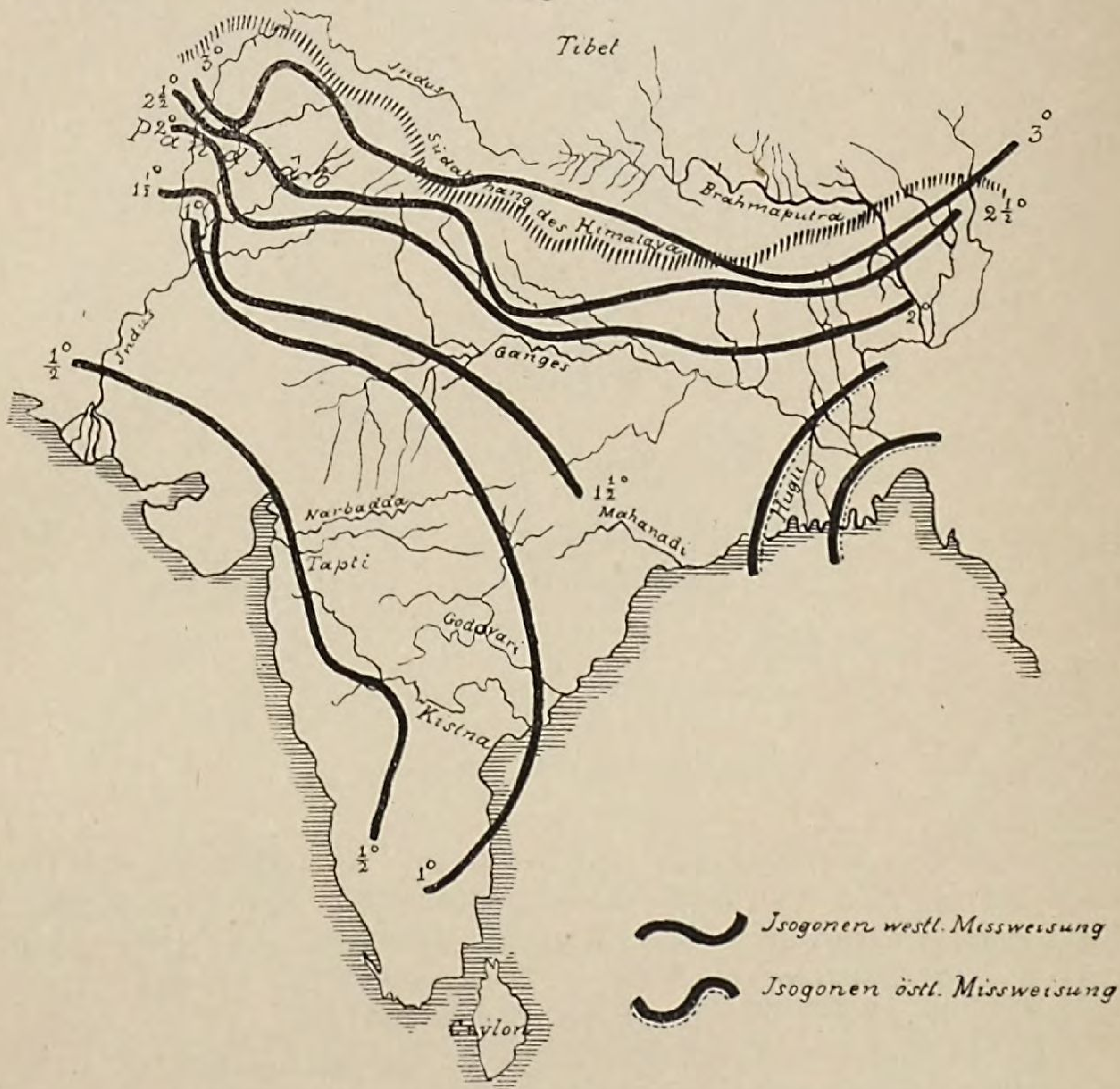
Teiles auf *Fig. 75* hingewiesen, worin die Abhängigkeit der Isogonen Nordindiens von der Achsenrichtung des Himálaya deutlich genug sich ausspricht. Merkwürdige Umbiegungen eben dieser Kurven hat *Naumann* auch in der Umgebung des grossen japanischen Querbruches („Fossa magna“) aufgefunden.

Dieser mit dem Erdmagnetismus im innigsten Zusammenhange stehende Gebirgsmagnetismus ist somit etwas ganz anderes, als der oben näher geschilderte Gesteinsmagnetismus, dessen Wirkungsbereich ein so enge begrenzter ist, dass er selbst auf magnetischen Kurvenkarten von sehr grossem Masstabe sich der Wahrnehmung ganz und gar entzieht. Im letzteren Falle sitzt die magnetische

[1]) Mit dieser These steht die vielfach, zumal im Harz gemachte Beobachtung nicht im Widerspruche, dass gar oft nahe bei Gangspalten, Verwerfungen u. dgl. nicht die mindeste Diskontinuität in der Verteilung der magnetischen Erdkraft sich nachweisen lasse. In solchen Gebirgen, die denn auch meist, geologisch gesprochen, zu den uralten gehören, ist eben längst vollkommenes tektonisches Gleichgewicht eingetreten, und es fehlt jede Veranlassung zur Erzeugung von Strömen, welche das magnetische Gesamtbild der Gegend zu trüben imstande wären.

Kraft in den Steinen selbst, im anderen dagegen ist sie nichts ursprünglich gegebenes, sondern das Resultat von Bewegungen, welche sich nach der jetzt festgestellten Thatsache, dass alle physikalischen Agentien der wechselseitigen Umsetzung in einander fähig sind, in magnetelektrische Ströme verwandeln. Ob dann noch, wie *Hull* will, auf eine angebliche *Polarität des Erdmagmas* zurückgegriffen werden muss, stehe vorläufig dahin; mit der *Gauss*schen Lehre stimmt

Fig. 75.



gewiss diejenige Erklärungsweise am besten überein, welche die Ursprungsstelle des Erdmagnetismus in die äusseren Schichten der starren Erdkruste verlegt. Geschieht dies, so wird man auch am ehesten Gelegenheit finden, die so mannigfach in einander übergreifenden Bethätigungen des Gesteinsmagnetismus, des Gebirgsmagnetismus und des Erdmagnetismus im engeren Sinne von einander zu trennen, resp. vielleicht sie alle in letzter Instanz in einer gemeinsamen Quelle zu vereinigen [1]).

[1]) Einiges Licht fällt auf den Gebirgsmagnetismus auch durch die Wahrnehmung, *dass die Veränderung der magnetischen Intensität in freier Luft eine ganz andere ist, als an den Abhängen von Bergen.* Zwar ist es, wie man aus

Das Polarlicht. Von allen der Physik der Erde zur Erklärung überwiesenen Erscheinungen ist die optisch unzweifelhaft grossartigste das den hohen Breiten eigentümliche *Polarlicht*. Gewöhnlich spricht man nur vom *Nordlicht*, da eben die Südpolargebiete von Beobachtern sehr entblösst sind; dass es aber auch *Südlichter* von wesentlich gleichem Aussehen gibt, das ist seit der Rückkehr *Cook*s und *J. R. Forster*s von ihrer Reise an die Grenzen des südlichen Eismeeres eine bekannte Sache. Man ist nicht klar darüber, ob gewisse unbestimmte Andeutungen der griechischen und römischen Schriftsteller sich wirklich auf das Polarlicht beziehen; die ersten zweifellosen Nachrichten darüber sind in dem mittelalterlichen „Königsspiegel" Norwegens enthalten, aus welchem *Fritz* Auszüge mitgeteilt hat. Seit *K. Gessner* (1561) hat man auch in Mitteleuropa das Phänomen verfolgt, und seit dem Anfange des vorigen Jahrhunderts, da *Liebknecht* und *Kirch* die *„aurora borealis"* auch wissenschaftlich zu erforschen sich anschickten, ist dieser Gegenstand nicht mehr von der Tagesordnung verschwunden.

Man unterscheidet in der Hauptsache zweierlei verschiedene Erscheinungsformen des Polarlichtes: das *Bogenlicht* und das *Draperielicht*. Bei der ersteren Art spannt sich über dem nördlichen Teile des Horizontes eine Lichtbrücke aus, welcher eine entfernte Aehnlichkeit mit einem Regenbogen nicht abzusprechen ist, von deren kreisförmiger Begrenzungslinie aber fortwährend Strahlen in radialer Hinsicht ausgehen. Das Draperielicht wird schon durch seinen Namen gekennzeichnet; *Wohlgemuth*, der auf Jan Mayen vielfach Gelegenheit zum Studium gerade dieser besonderen Art von Polarlichtern hatte, vergleicht es treffend mit einem in der Hebung begriffenen und dabei unruhig hin- und herflatternden Theatervorhange, wie dies denn auch in *Fig. 76* (nach *Lemström*) sich zu erkennen gibt. Nicht allerorts ist die Wahrscheinlichkeit gleich gross, die eine oder andere Art zu sehen, vielmehr hat man, wenn man sich vonvornherein über das, was man erwarten darf, klar werden will, die durch *A. E. v. Nordenskiöld* eingeführte *Zoneneinteilung* zu berücksichtigen, mit welcher uns *Fig. 77* bekannt macht. Den Mittel-

*Gay-Lussac*s Beobachtungen im Ballon hatte schliessen wollen, nicht richtig, dass bis zu einer Höhe von 6000 m keine sicher erkennbare Abschwächung der erdmagnetischen Kraft zu verspüren sei, allein die Abnahme ist doch in der Atmosphäre eine langsamere, im Gebirge dagegen eine vergleichsweise raschere. *Saussure* auf dem Montblanc, *Kupffer* im Kaukasus, *Laugier* und *Mauvais* in den Pyrenäen, *Bravais* auf dem Faulhorn und ebenfalls auf dem Montblanc haben dahin zielende Intensitätsmessungen veröffentlicht. Eine neuere und sehr wertvolle Beobachtungsreihe aus dem Riesengebirge verdankt man *O. E. Meyer*, allein diese steht mit den Ergebnissen jener älteren Forscher in direktem Gegensatze und verifiziert eine von *Quetelet* gelegentlich gemachte Wahrnehmung, dass nämlich mit zunehmender Höhe auch die magnetische Intensität anwächst. *Meyer* neigt allerdings persönlich der Ansicht zu, dass schon der Gesteinsmagnetismus als solcher das so verschiedene Verhalten der meist aus Urgestein bestehenden Alpengipfel und der stark eisenhaltigen Höhen des deutschen Mittelgebirges erkläre, allein auch diese letzteren weisen Gneis und Glimmerschiefer als vorwiegende Bestandteile auf. Hier gibt es also noch manches Rätsel zu lösen.

punkt der in ihr verzeichneten konzentrischen Kreise nennt man den *Nordenskiöldschen Punkt*; derselbe fällt nicht genau in den magnetischen Nordpol, ist aber von diesem auch nicht allzuweit entfernt. Im inneren (weiss gelassenen) Kreise verraten sich die Nordlichter nur durch eine unbestimmte diffuse Helligkeit oder sie grenzen sich bereits am südlichen Horizonte ab; in den beiden nächsten Zonen herrscht das bogenförmige Nordlicht vor, während das Mantellicht seiner schönsten Entfaltung in dem äusseren schraffierten Gürtel teilhaftig wird.

Das Substrat der Polarlichterscheinungen muss von sehr wenig dichtem Gefüge sein, denn das Licht der schwächstleuchtenden Sterne wird von ihm ohne erkennbare Verminderung durchgelassen.

Fig. 76.

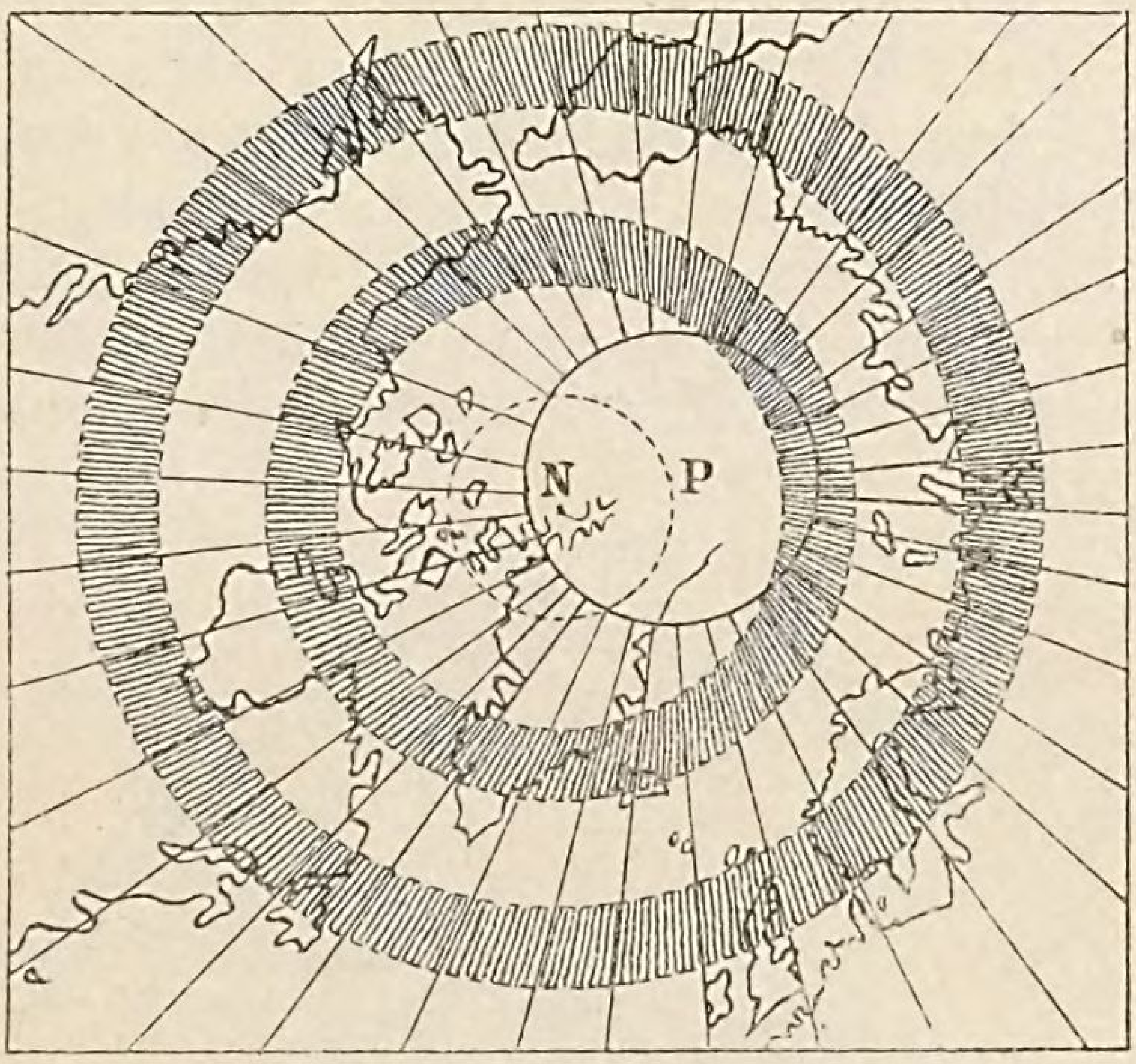


Selbst das Funkeln der Sterne nimmt nach vielseitigen Beobachtungen den Charakter grösserer Lebhaftigkeit an, wenn gerade ein Polarlicht am Himmel steht, und der gründlichste Kenner des Szintillationsphänomenes, *Montigny*, hat die Richtigkeit dieses Faktums ausser Zweifel gestellt.

Im Auftreten der Polarlichter ist eine gewisse Periodizität nicht zu verkennen. Schon vonvornherein durfte erwartet werden, dass jene elfjährige Periode, welche zwischen den Bewegungen innerhalb der Sonnenphotosphäre und den Schwankungen des terrestrischen Magnetismus obwaltet, sich auch bei den Polarlichtern wiederholen müsse, und dass dem wirklich so, das wird durch die von *Lemström* angegebene, in unserer Figur (*Fig. 78*) wieder-

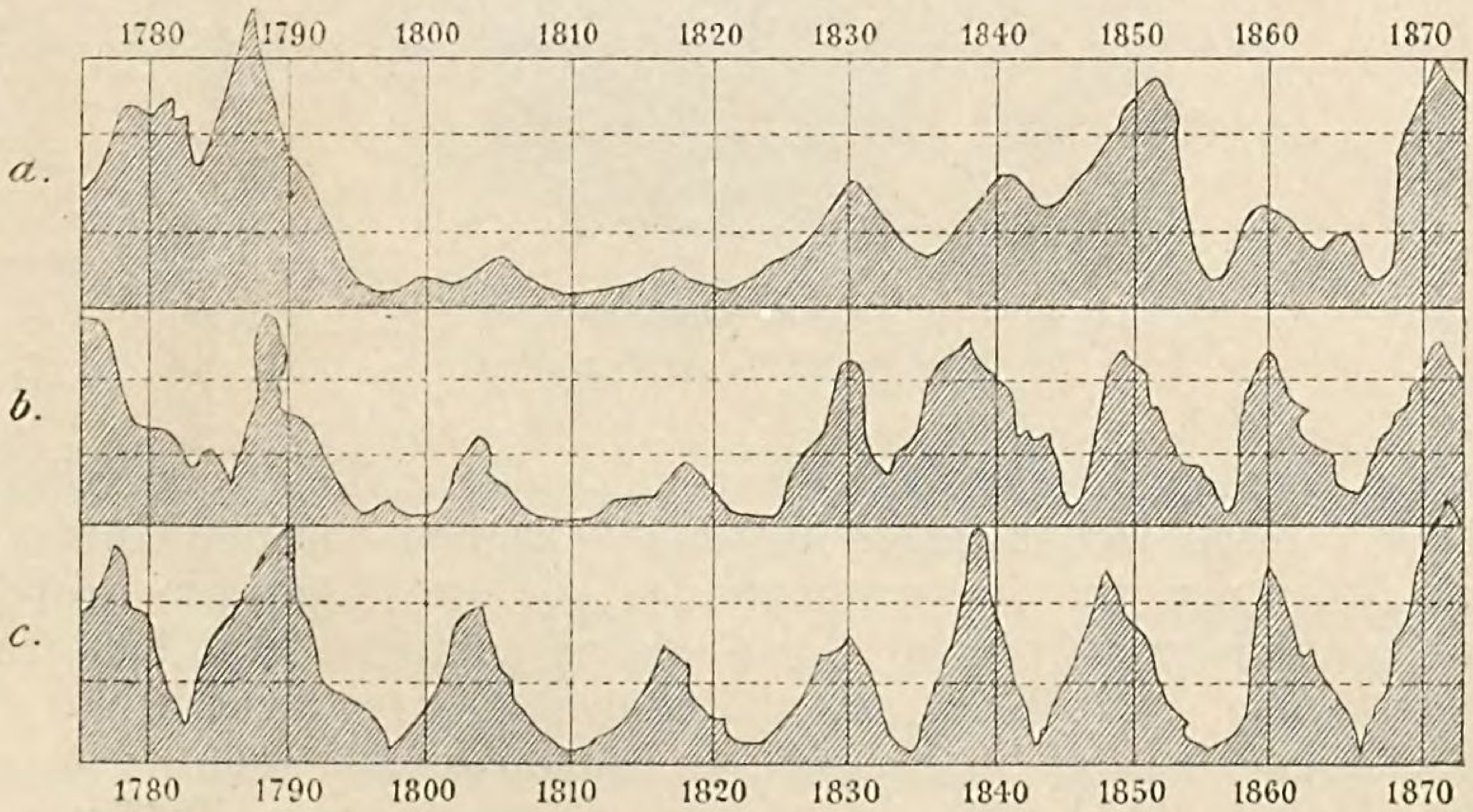
gegebene Zusammenstellung gewiss ausreichend bekräftigt, ohne dass noch eine besondere Erläuterung hinzuzutreten hätte. Eine *jahreszeitliche Periode* manifestiert sich minder scharf, doch scheinen immer-

Fig. 77.



hin die Monate April und September am meisten, die Monate Juni und Dezember am wenigsten von dieser Erscheinung begünstigt zu

Fig. 78.



a. Kurve deren Ordinaten der Anzahl der jährlich beobachteten Polarlichter proportional sind.

b. Kurve welche die mittlere Jahresabweichung der Deklinationsnadel darstellt.

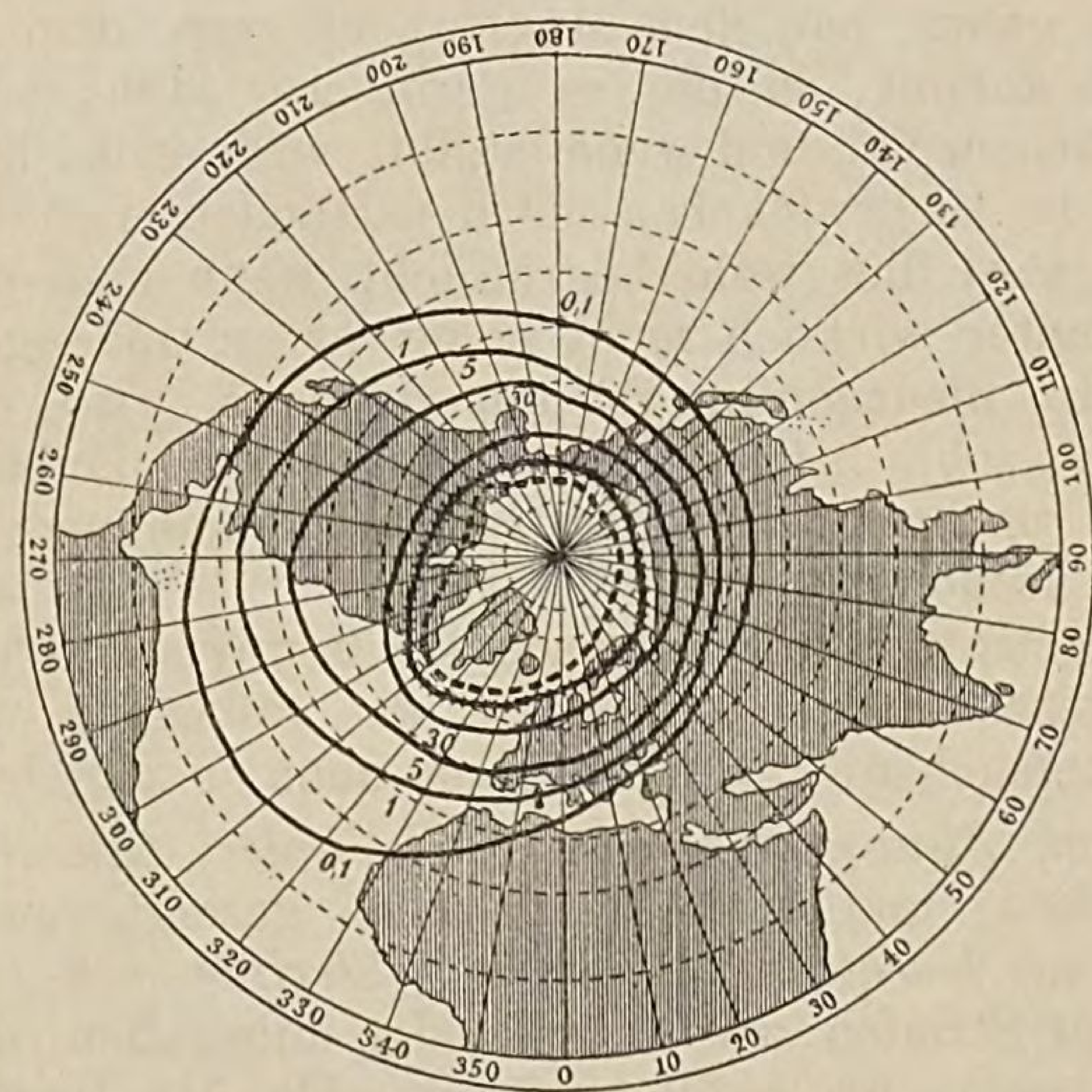
c. Kurve der relativen jährlichen Sonnenfleckenfrequenz.

werden. Die *tägliche Periode*, soweit von einer solchen die Rede sein darf, hat ihr Maximum um 10 Uhr des Abends.

Um über die *geographische Verbreitung* der Nordlichter — für

die Südlichter fehlt es noch allzusehr an Beobachtungsdaten — ein Urteil zu gewinnen, muss man sich an die von *Fritz* konstruierten *Isochasmen* (χασμή, ein Gegenstand von auffälligem Wesen) halten, mit welchen uns *Fig. 79* bekannt macht. Diese Kurven geben mittelst der beigeschriebenen Zahlen an, wie oft man im Jahre an dem auf irgend einer derselben gelegenen Punkte ein Nordlicht zu sehen erwarten darf; die Kurve 0,1 deutet somit an, dass nur ungefähr alle 10 Jahre die Erscheinung mächtig genug auftritt, um in so weit vom hohen Norden entfernten Gegenden, wie Griechenland, Texas u. s. w. noch gesehen zu werden. Die Kurve des Maximums hat, wie sich dies aus den oben betreffs der *Nordenskiöld*schen Zonen beigebrachten Mitteilungen ergibt, keine sehr polare

Fig. 79.



Kurve der Neutralität
Kurve des Maximums.

Lage; sie kreuzt die Hudsons-Bay und geht südlich von Grönland vorüber. Noch weiter gegen Norden begegnen wir der Kurve der Neutralität; wer auf dieser wohnt, der wird im allgemeinen ebenso viele Nordlichter an seinem Nord- als an seinem Südhorizonte auftauchen sehen. Die Isochasmen sind ovale Kurven von nicht ganz regelmässiger Gestalt und nicht, wie man zuerst wohl vermuten möchte, konzentrische Kreise, als deren gemeinsames Zentrum der *Nordenskiöld*sche Punkt (s. o.) anzusehen wäre.

Die *Höhe*, in welche man den Sitz der Polarlichterscheinungen zu verlegen hat, ist schon im vorigen Jahrhundert zum Gegenstande vielfältiger Untersuchungen gemacht worden. Von den mancherlei zur Erreichung dieses Zweckes gemachten Vorschlägen führt am sichersten die Vereinigung zweier Beobachter zum Ziele, welche von den Endpunkten einer gemessenen Standlinie aus einen charak-

teristischen Punkt des Lichtbogens u. s. w. anvisieren und die Elevationswinkel der Gesichtslinien messen. Die Zahlen, zu welchen man für den vertikalen Abstand solcher Punkte vom Erdboden gelangt ist, sind überaus verschieden. *Bravais* fand in Lappland 90 km bis 150 km, *Nordenskiöld* in Grönland resp. Spitzbergen im Durchschnitte 190 km, wogegen *Farquharson* nur 750 m herausgebracht haben will. Auch *Paulsen* und *Kleinschmidt*, welche in Godhab auf Grönland ausgedehnte und sehr vertrauenswürdige Messungen vornahmen, bestätigen die grosse Niedrigkeit vieler Nordlichter. In Wirklichkeit darf die grosse Verschiedenheit der ermittelten Einzelwerte durchaus nicht allein der Unvollkommenheit des Messungsverfahrens zur Last gelegt werden, sondern es steht ganz fest, *dass die Höhe der Polarlichter, je nach der Gegend, in welcher sie sich zeigen, zwischen weit auseinander liegenden Grenzen schwankt.* Je näher man dem Magnetpole, resp. dem *Nordenskiöld*schen Punkte kommt, in um so geringerer Höhe sieht man das prachtvolle Farbenspiel, und wenn erzählt wird, selbst kundige Polarfahrer hätten die Lichtwölkchen mit den Händen ergreifen zu können geglaubt, so wird dies wohl begreiflich, wenn man bedenkt, dass dieselben mitunter wirklich nicht höher als in mässiger Turmhöhe schwebten. In niedrigeren Breiten dagegen wird die Vertikalerhebung eine sehr beträchtliche. *Lemström* glaubt die grösste Höhe, in der noch das Polarlicht zustande kommen kann, gleich 70 km setzen zu sollen.

Von Wichtigkeit war es, nachdem die Wissenschaft es bis zu dieser Errungenschaft gebracht hatte, das Polarlicht *spektroskopisch* (S. 6) zu untersuchen. Dies ist denn auch in den letzten Jahren durch *Ångström, Alexander Herschel, Wijkander, Lemström* und viele andere geschehen, und es hat sich dabei gezeigt, *dass das Nordlichtspektrum aus leuchtenden, gefärbten Streifen sich zusammensetzt.* Die Anzahl der Streifen wird verschieden angegeben, doch scheinen es keinesfalls mehr als zwölf zu sein. Da das Nordlicht hauptsächlich violette, d. h. dem chemisch wirksamsten Teile des gewöhnlichen Spektrums angehörige Strahlen aussendet, so sollte man darin ein für *photographische Aufnahmen* günstiges Moment erblicken, allein diese Erwartung hat getrogen. Die merkwürdigste Linie ist eine *gelbgrüne*, welche mit derjenigen verwandt zu sein scheint, die sich, wie früher erwähnt, im Spektrum der äussersten solaren Koronaschichten (S. 10) findet und uns schon früher beschäftigt hat.

Wir kommen nun zu der ebenso schwierigen als wichtigen Frage, *welchen Kräften man die Entstehung der Polarlichter zuzuschreiben habe.* Die früher verzeihliche, von neueren Autoren aber sehr mit Unrecht wieder hervorgeholte Ansicht, *dass ein rein optisches Phänomen der Spiegelung und Brechung vorliege,* lässt sich, wie u. a. *Pechuël-Loesche* gethan hat, leicht als eine ganz unhaltbare erkennen und soll hier nicht weiter in betracht gezogen werden. Dafür dagegen, *dass das Polarlicht ein magnet-elektrisches Phänomen* sei, sprechen von allem Anfange an zwei gewichtige Gründe. Erstens nämlich pflegt sich beim Aufleuchten eines Nord- und

Südlichtes[1]) meist überall auf der Erde jene eigentümliche Störung des magnetischen Normalzustandes einzustellen, welche sich in unerklärlicher Unruhe der Magnetnadeln äussert, und für welche wir oben (S. 193) den bezeichnenden *Humboldt*schen Namen kennen gelernt haben; zum zweiten aber ist es insbesondere durch die von *Bravais, Lottin* und *Siljeström* in Lappland systematisch angestellten Beobachtungen erwiesen worden, dass die verlängerte Neigungsnadel regelmässig denjenigen Punkt des Himmelsgewölbes trifft, in welchem sich die sogenannte *Nordlichtkrone* befindet. Als man diese Erkenntnis gewonnen hatte, verfiel man sofort darauf, das *Polarlicht als einen elektrischen Ausgleich* anzusprechen; *De la Rive* ersann ein Experiment zur Versinnbildlichung des Vorganges, wie er ihn sich dachte, und seit den vierziger Jahren versuchte man immer entschiedener, eine Parallele zu ziehen zwischen dem Polarlichte, als dem Typus *ruhiger* Ausgleichung in *hohen Breiten*, und dem Gewitter, als einem Beispiele für die *jähe* Ausgleichung in *niedrigen und mittleren Breiten*[2]).

Wiederum in ein ganz anderes Fahrwasser kam die Theorie des Polarlichtes durch die der neuesten Zeit angehörigen Arbeiten von *Edlund* und *Lemström*, welche jenes im engsten Zusammenhange mit den uns schon bekannten Erdströmen und mit den Veränderungen im Spannungszustande der Atmosphäre (s. den nächsten Abschnitt) betrachteten. Sowohl im Luftkreise wie auch in der Erde vollziehen sich elektrische Strömungsbewegungen, welche *Edlund* auf *Faradays unipolare Induktion*[3]) zurückzuführen geneigt ist, und diese gelangen, wenn die Potentialwerte über eine gewisse Grenze gesteigert sind, zu jener langsamen Entladung, deren äusseres Zeichen das ohnehin sehr an die Lichterscheinungen in den *Geissler-schen Röhren* gemahnende Farbenspiel des Polarlichtes bildet. Den Prüfstein für die Richtigkeit dieser Auffassung bildet der Umstand, dass, wenn es sich so verhält, *künstliches Nordlicht* muss erzeugt werden können. Indem man nämlich ein isoliertes, grossartiges Blitzableitersystem mit der Erde durch einen Leitungsdraht in Verbindung setzt, kann man die ohnehin vorhandene, aber noch schwache Spannung derart steigern, dass in der That eine Lichtwirkung zustande kommt. Mit der Anstellung dahin zielender, im grössten

[1]) Es erscheint wahrscheinlich, dass mit jedem Aufblitzen eines Polarlichtes auf der nördlichen auch ein solches auf der südlichen Hemisphäre zeitlich zusammenfällt, indessen hat es noch immer an Beobachtungen gefehlt, um die Vermutung zur Gewissheit zu machen.

[2]) Bereits im Jahre 1723 hat der bekannte Philosoph und Mathematiker *Christian v. Wolf* ein von ihm gesehenes und einlässlich beschriebenes Nordlicht als ein Gewitter gekennzeichnet, „welches nicht zu Kräften gekommen sei".

[3]) *Faraday* und nach ihm *W. Weber* und *Plücker* haben dargethan, dass durch die blosse Bewegung eines Magneten in der Nähe eines Leiters in diesem ein Strom erzeugt werden kann; wenn z. B. ein Magnet um seine eigene Achse gedreht wird, so durchläuft einen entsprechend mit ihm verbundenen Leiter ein Strom. Die Erde aber ist, wie wir zur genüge wissen, nichts als ein grosser Magnet, bedeckt von einer gut leitenden Kruste, wogegen von der Atmosphäre die unteren Schichten nur schlecht leiten. In der Nähe der Pole sind dann alle Bedingungen für den allmählichen Ausgleich gegeben.

Stile gedachter Versuche ist *Lemström* in Finnland vorangegangen; *Paulsen, Tromholt* u. a. haben sich sodann Grönland zum Operationsfelde ausersehen und auf den dortigen Bergspitzen entsprechende Erfolge erzielt. Das lebhafte Wechseln der Farben beobachtet man in dem unter Umständen doch ziemlich kräftigen Lichtschimmer, der das Stangensystem umgibt, allerdings nicht, wohl aber weist die Spektralanalyse in diesem Schimmer jene für das Polarlicht charakteristische Linie nach, deren oben gedacht wurde. *Die elektrische Natur des Polarlichtes ist durch die solchergestalt von der menschlichen Thätigkeit hervorgerufenen Analogien über jeden Zweifel erhoben worden.*

X. Die Atmosphäre und die in ihr sich vollziehenden Bewegungen.

Zusammensetzung der Lufthülle. Der frei im Weltraume schwebende Erdball ist umgeben von einer gasförmigen Hülle, der sogenannten *Atmosphäre.* Dieselbe ist als ein durchaus integrierender Bestandteil unseres Planeten zu betrachten, der insbesondere an der täglichen und jährlichen Bewegung desselben ganz ebenso anteil nimmt, wie die flüssigen und festen Massen, welche die Erde bilden, und für deren Gesamtheit die entsprechend gebildeten Worte *Hydrosphäre* und *Lithosphäre* im Gebrauche sind. Die Niveauflächen der Erde, soweit sie im Gebiete des Luftkreises verlaufen, besitzen im wesentlichen auch noch die uns bekannte sphäroidische Form (S. 47), nur wird, je weiter man nach aussen fortschreitet, ihre Abplattung eine stets grössere und grössere.

Zerlegt man die Luft vermittelst chemischer Methoden, die seit *Black, Cavendish* und *Scheele* an Feinheit überaus zugenommen haben, so gelangt man zu einer geographisch sehr merkwürdigen Thatsache: *Von geringfügigen lokalen Schwankungen abgesehen, ist die Zusammensetzung der Atmosphäre über die ganze Erde hin allerorts in qualitativer und quantitativer Beziehung die gleiche.* Es entfallen nämlich auf 100 Volumteile Luft 21,00 Volumteile *Sauerstoff,* 78,96 Volumteile *Stickstoff* und 0,04 Volumteile *Kohlensäure.* Am meisten variiert noch der letztgenannte Bestandteil, auf dessen Vorkommen insbesondere der Umstand, ob die betreffende Gegend eine vegetationsreiche oder aber eine vegetationslose ist, einen gewissen Einfluss ausübt. Auch ist die *Grundluft* ein Faktor, der dabei mitspielt. Wie sich in namhafteren Höhen über der Erdoberfläche bei absolut ruhiger Luft die Prozentzahlen der drei Grundstoffe zu einander verhalten, das ist schwer zu entscheiden, da die Winde fast ununterbrochen eine Durcheinandermengung der einzelnen Schichten herbeiführen, doch scheint so viel festzustehen, dass der

Sauerstoffgehalt mit der Höhe abnimmt, dass dagegen für die vertikale Verteilung der Kohlensäure zunächst noch keinerlei Gesetzmässigkeit nachzuweisen ist. Je nachdem man deren Menge in wechselnden Höhen bei *Bergbesteigungen* oder aber bei *Ballonfahrten* prüfte, hat man ganz verschiedene Ergebnisse erzielt.

Von anderweiten, man darf wohl sagen *fremdartigen* Bestandteilen der Luft sind nur der *Wasserdampf* und der *Staub* einer eingehenderen Untersuchung würdig zu erachten. *Ammoniak* gelangt gelegentlich als Verwesungs- und Exhalationsprodukt in die Atmosphäre, *Schwefelwasserstoff* pflegt der Luft eines Meeresstrandes selten ganz zu fehlen, und gewisse Gase treten, wie oben erwähnt (S. 139), regelmässig in der Nähe vulkanischer Eruptionsstellen auf, so namentlich der *Wasserstoff*. Was es mit dem *Ozon*, in dem man früher eine allotrope Form des Sauerstoffes erkennen zu sollen glaubte, für eine Bewandtnis habe, ob man das Ozon überhaupt quantitativ zu messen imstande sei, darüber gehen zur Zeit noch die Ansichten sehr weit auseinander.

Sehr wichtig als eine nur ganz ausnehmend selten der Luft völlig fehlende Beimischung ist, worauf wir bereits hinwiesen, der Wasserdampf, welcher durch den *Verdunstungsprozess* der Oberfläche grösserer Wasserflächen sowohl wie auch wasserhaltiger Substanzen entzogen und, wie optische Untersuchungen gelehrt haben, in Form *massiver kleiner Wasserkügelchen* der Atmosphäre einverleibt wird. Bereits *Aristoteles* hatte ein Verständnis dafür, dass der *Wassergehalt der Luft* von der Temperatur abhänge, doch war natürlich erst eine sehr viel spätere Zeit vermögend, für diese Abhängigkeit den richtigen Ausdruck zu finden. Wenn wir uns denken, ein bestimmtes Luftvolumen habe die grösste Quantität Wasserdampf in sich aufgenommen, welche es überhaupt bei der obwaltenden Temperatur aufzunehmen fähig ist, so sagt man, die Luft sei mit Dampf *gesättigt*, und von der dem Sättigungszustande entsprechenden Temperatur sagt man, sie habe den *Thaupunkt* erreicht. Wenn von diesem aus die Temperatur steigt, so erlangt unser obiges Luftvolumen die Fähigkeit, noch mehr Dampf in sich aufzunehmen; wenn aber das Thermometer unter den Thaupunkt sinkt, so muss ein Teil des resorbierten Dampfes ausgeschieden und *kondensiert*, d. h. in den tropfbar-flüssigen Aggregatzustand zurückgeführt werden. Dies gibt Veranlassung zur Bildung der in so verschiedenen Formen auftretenden *Niederschläge*, mit denen wir uns im zweitnächsten Abschnitte näher beschäftigen wollen.

In jedem Momente enthält die Luft thatsächlich eine gewisse Menge Wasserdampf, die freilich möglicherweise auch Null sein kann, und für diese Menge ist der Name *absolute Feuchtigkeit* gewählt worden. Weit bedeutsamer als diese ist jedoch die durch eine unbenannte Zahl ausgedrückte *relative Feuchtigkeit*; sie ist einem echten Bruche gleich, *in dessen Zähler der thatsächlich herrschende Dampfdruck, in dessen Nenner dagegen jener Dampfdruck steht, welcher im Maximum bei der gegebenen Temperatur noch herrschen könnte.* Das Thermometer stehe auf 20°; dann könnte die Luft, wie die

Tabellen darlegen, im Maximum einen Dampfdruck von 17,4 mm aushalten, allein das Hygrometer mag gerade nur einen solchen von 10 mm ergeben. Es ist somit die relative Feuchtigkeit = 10 : 17,4 = 0,57. Gemeiniglich stellt man diesen Wert nicht als reine Zahl dar, sondern man gibt ihn in Prozenten an und so ist die gesuchte Grösse in unserem Falle gleich 57 Prozent.

Die einflussreiche Rolle, welche die als *Staub* bezeichnete *Gesamtmenge der in der Atmosphäre suspendierten festen Partikeln* nicht nur quantitativ, sondern auch als meteorologisches Moment zu spielen berufen ist, ist erst der neuesten Zeit zu klarem Bewusstsein gekommen. Eine Reihe von Forschern, unter welchen wir *Aitken, Tissandier, Assmann* hervorheben, hat diese Frage studiert und uns die Ueberzeugung verschafft, dass die Prozesse der Nebel- und Wolkenbildung das Vorhandensein solcher Fremdkörper in der Atmosphäre zur unumgänglichen Voraussetzung haben. Aus diesem Grunde geschieht es auch, dass der Staubgehalt der Luft nach einem Regen ein viel geringerer geworden ist. Selbstverständlich ist in Städten, Steppen, Wüsten, über nacktem, vom Winde gepeitschtem Gesteine die Menge des Staubes eine weit grössere, als oberhalb eines von einer Pflanzendecke bedeckten Bodens oder gar über Wasser. Unter der (s. o.) doch wohl etwas zu weit gehenden Voraussetzung, dass jedes Nebeltröpfchen einen festen Kern von allerdings meist bloss mikroskopischer Grösse umschliesse, hat *Aitken* die Staubkörner, die sich unter verschiedenen Bedingungen in einem bestimmten Luftvolumen ansammeln, sogar zu zählen versucht und dabei Zahlen gefunden, die möglicherweise zu gross sind, die aber immerhin zu *Tissandier*s Luftanalyse, welche in einem Kilogramm Pariser Stadtluft nicht weniger denn 23 Millionen fremdartige Bestandteile nachwies, ganz gut stimmen. Folgendes sind *Aitken*s Ermittlungen:

Art der Luft	Anzahl der in einem Kubikcentimeter enthaltenen Fremdkörperchen
Regnerische freie Luft . . .	32 000
Trockene freie Luft	130 000
Zimmerluft im allgemeinen .	1 860 000
Zimmerluft nahe der Decke .	5 420 000

Dass der Staubgehalt rasch steigt, wenn sich eine ergiebige Quelle von Verbrennungsprodukten in der Nähe befindet, braucht kaum besonders betont zu werden. Mit der soeben erörterten Thatsache steht das Vorkommen sogenannter *Blut- und Schwefelregen* in enger Beziehung; in Wirklichkeit fällt natürlich weder Blut noch Schwefel vom Himmel, sondern es werden von rasch bewegter Luft feine Sandkörner und Blütenteile von Pflanzen fortgetragen, die eine verschiedenartige Färbung besitzen, und wenn die Intensität der Luftbewegung nachlässt, so fallen die genannten Stoffe nicht selten an Orten zu Boden, welche von der Ursprungsstelle ziemlich weit ent-

fernt sind. Der berüchtigte *Moorrauch*, irrtümlich auch *Höhenrauch* genannt, gehört in die gleiche Kategorie der *Lufttrübungen*; wenn die Bewohner des nordwestlichen Deutschlands das dortige Moorgebiet für den Ackerbau brauchbar machen wollen, so zünden sie die oberflächlichen Schichten der Moore an, und der so entstehende Rauch wird, wenn gerade Nordwind weht, in wenigen Tagen bis zu den Abhängen der Alpen und Karpathen getragen.

Unter den unsichtbaren Fremdkörpern der Atmosphäre verdienen die meiste Beachtung sicherlich diejenigen, welche als *Bakterien* die Träger der Krankheitsgifte darstellen und, wenn in die Blutbahnen eines dafür empfänglichen Organismus gelangt, in diesem nach einiger Zeit (*Inkubationsstadium*) eine *Infektionskrankheit* erzeugen. Diese Bakterien sind durchweg selbst organische Körper, der Mehrzahl nach pflanzlicher Natur und zu den *Spaltpilzen* gehörig, doch scheint für gewisse Volkskrankheiten, zumal für die (s. den nächsten Abschnitt) den heissen Ländern eigentümliche Malaria, eine andere Entstehungsart angenommen werden zu müssen; die winzigen Organismen, welche im Blute der von dieser Seuche Befallenen entdeckt wurden, heissen *Plasmodien*. Die *Bakteriologie* ist ein besonderer, sehr wichtiger Zweig der allgemeinen Pathologie geworden und hat uns bereits wertvolle Aufschlüsse verschafft über die Beschaffenheit des Bodens, auf welchem jene Feinde der Menschheit besonders gut gedeihen, ihres *Nährbodens*. Man hat von jeher instinktiv die gesundheitliche Wirkung des Waldes hoch geschätzt, und es kann auch nach *Ebermayer* als sicher angenommen werden, dass sich im Walde kein günstiger Nährboden für die Bakterien vorfindet. Dieselben brauchen einen weder zu feuchten noch zu trockenen Boden, und der Wald übt eine solche *drainierende* Wirkung auf seinen Grund aus, dass die pathogenen Pilze an der Oberfläche nicht so viel Flüssigkeit antreffen, wie, selbst wenn sie irgendwie in den Bereich des Waldes gelangt sind, für ihr Fortkommen erforderlich ist. Trotzdem bleibt so viel Feuchtigkeit, um die Pilze festzuhalten, denn es ist festgestellt, dass die krankheiterregenden Mikroorganismen nicht aus einem feuchten Medium heraus in die Luft übergehen.

Höhe der Atmosphäre. Seit dem frühen Mittelalter steht die Frage auf der wissenschaftlichen Tagesordnung, wie gross die *Höhe* oder, wie man sich wohl korrekter ausdrücken würde, wie gross die *Mächtigkeit* der Atmosphäre angenommen werden müsse. Im XIII. Jahrhundert suchte bereits der Araber *Ibn Haitham* (auch *Alhazen* genannt) diese Frage mittelst optischer Ueberlegungen zu beantworten, und seinem Verfahren ist selbst heute noch eine gewisse Brauchbarkeit zuzusprechen. Man soll danach den Zeitpunkt genau fixieren, in welchem ein von der Sonne gerade noch beleuchtetes Wölkchen im Horizonte des Beobachters sich befindet; vorausgesetzt, dass der Weg der Sonnenstrahlen im Inneren der Atmosphäre ein gradliniger wäre, ist dann die gesuchte Dicke derselben

oder eigentlich der kürzeste Abstand fraglicher Wolke von der Erdoberfläche gleich

$$\frac{r\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\frac{\alpha}{2}} = \frac{2\,r\sin^2\frac{\alpha}{4}}{\cos\frac{\alpha}{2}},$$

wo r den Erdhalbmesser und α den (negativen) aus der Zeit zwischen dem Untergange und dem Beobachtungstermine leicht zu entnehmenden Höhenwinkel der Sonne bedeutet. *Jesse* hat (s. u.) in ganz ähnlicher Weise, nur mit Berücksichtigung der Strahlenbrechung und anderer Umstände, die Höhe ermittelt, in welcher die zarten *Silberwölkchen* schweben, auf welche seit 1883 (s. u.) die Aufmerksamkeit der Meteorologen unaufhörlich gerichtet ist. Er fand, dass diese Höhe 70 bis 80 km beträgt, *und so hoch ist also mindestens auch unsere Atmosphäre.*

Jedenfalls ist dies aber nur ein unterer Grenzwert, und es ist auch jenseits der ungefähr in den erwähnten Grenzen verlaufenden Niveaufläche noch atmosphärische Luft, wennschon natürlich im Zustande alleräusserster Feinheit, vorhanden. Ob, wie man glaubte, die Atmosphäre bis zu jenen durch Rechnung zu ermittelnden Punkten [1]) reicht, für welche die Anziehungskraft der Erde der Fliehkraft gerade die Wage hält, über die hinaus somit eine vom Erdkörper untrennbare Gashülle zur völligen Unmöglichkeit wird, das wird sich wohl niemals feststellen lassen; auch kommt wenig darauf an, da in jenen Regionen die Dichte der Luft eine viel zu geringe sein würde, um sich irgendwie noch durch in den Bereich des sinnlich Wahrnehmbaren gehörige Wirkungen zu manifestieren. Die sichersten Bestimmungen erhält man anscheinend, indem man die Höhen misst, in welchen helle Meteorite (S. 2) aufleuchten. Dies hat schon *Schiaparelli* gethan, und aus seinen Beobachtungen erhellte, dass noch in Entfernungen von 200 km die Luft hinlänglich dicht sein muss, um die sie mit rapider Schnelligkeit durchkreuzenden Weltkörperchen zur Glühhitze bringen zu können. Aus den von *Riccò* und *Zona* angestellten Beobachtungen berechnen sich allerdings etwas geringere Höhen, die etwa zwischen 70 und 150 km variierten, allein in anbetracht des Umstandes, dass sowohl die Eigengeschwindigkeit der Sternschnuppe, als auch die Richtungsverschiedenheit ihrer und der Erdbewegung von Einfluss sein müssen, konnte man eine völlige Uebereinstimmung auch nicht erwarten. Zieht man endlich auch noch die von *A. Ritter* theoretisch, durch thermodynamische Erwägungen ermittelte Dicke der Atmosphäre bei, so kann man nachstehende These formulieren:

In Höhen von 150 bis 200 km über der Erde ist noch ziemlich

[1]) *Melanderhjelm* und *Laplace* haben die Entfernung eines in der Aequatorebene gelegenen Punktes dieser Art vom Erdzentrum berechnet und dieselbe ungefähr 5000 geographischen Meilen gleich gefunden.

dichte, in Höhen von 200 bis 350 km ist jedenfalls auch noch Luft, wenngleich in stark verdünntem Zustande vorhanden.

Die Ausscheidungen der Atmosphäre. Vollständig mit Wasserdampf gesättigte Luft bedarf nur einer sehr geringen *adiabatischen*, d. h. lediglich auf Kosten des inneren Wärmevorrates erfolgenden Ausdehnung, um *Nebel* hervorzubringen; dies ist durch *H. v. Helmholtz*, der allerdings zunächst nur den einen Faktor der Nebelbildung ins Auge fasste, dargethan worden. Mit der Ausdehnung geht eine oft nur ganz minimale Druckverminderung hand in hand; das bisher dampfförmig gewesene Wasser konsolidiert sich, und die nunmehr sich bildenden Aggregate von kleinen Wasserkugeln werden dem Auge sichtbar als Nebel, der auch, wenn er sich ganz dicht über den Erdboden als eine weissgraue Decke lagert, den Namen *Schwaden* führt. Die adiabatische Zustandsänderung bietet jedoch nur eine Vorbedingung dafür, dass sich die Bläschen zu einem in die sinnenfällige Erscheinung tretenden Komplexe zusammenballen; damit dies wirklich eintrete, müssen *Ansatzkerne* vorhanden sein, um welche herum die Tröpfchen eine höhere Konsistenz gewinnen können. Dies aber sind nach *Aitken*, wie wir wissen, die in der Luft frei schwebenden Staubkörner, bei deren Abwesenheit der Prozess der Nebelbildung entweder gar nicht oder doch nur ganz langsam sich vollzieht.

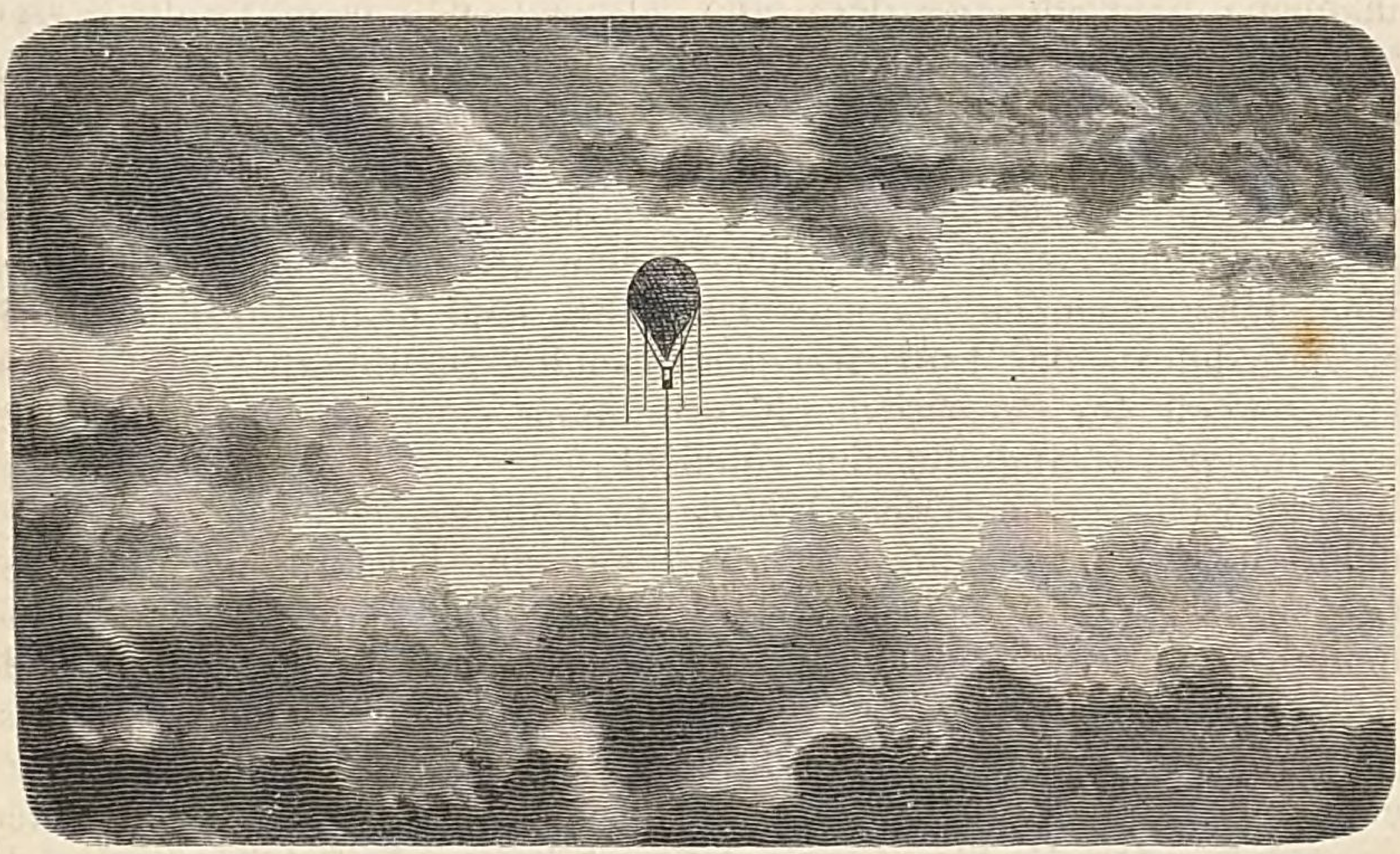
Zwischen Nebel und *Wolken* besteht ein eigentlicher Unterschied nicht, indem uns eben ein aus der Entfernung gesehener Nebel als Wolke erscheint. Die Bestandteile einer solchen sind somit auch Wasserkügelchen, resp. in grosser Höhe frei schwebende *Eisklümpchen* von prismatischer Form. Die Entstehungsursache ist jedenfalls ein gegenseitiges Durchdringen von Luftschichten verschiedenen Feuchtigkeitszustandes[1], und die Form der Wolken hängt von der Richtung und Intensität der Luftströmungen ab, welche in der betreffenden Gegend der Atmosphäre die herrschenden sind.

Eine Charakteristik der Wolken nach wissenschaftlichen Grundsätzen ist zuerst von dem Engländer *Howard* durchgeführt wor-

[1]) Geleitet durch die Betrachtung der Wellenformen, welche auf einer vom Winde lebhaft bewegten Wasserfläche wahrzunehmen sind, hat *H. v. Helmholtz* mit den Mitteln der höheren Analysis auch die Störungen untersucht, welche die zunächst als eben und horizontal vorausgesetzte Grenzfläche zweier Luftschichten von ganz verschiedenem Bewegungszustande erleidet. Ist die untere Schicht hinlänglich mit Wasserdampf gesättigt, um überhaupt Nebel entstehen lassen zu können, so sieht man parallele Wolkenstreifen auftreten, welche mutmasslich von dem Wellenschlage erzeugt sind. *Busch* erinnert daran, dass auch die Struktur der Zirrus- oder Federwolken oft eine überraschende Aehnlichkeit aufweist mit der wellenförmigen Anhäufung feinen losen Bodensandes an seichten Stellen langsam fliessender Bäche und Flüsse — Gebilden, welche uns in Abschnitt XIV noch Anlass zu besonderer Besprechung bieten werden. Einen treffenden Beleg für die Thatsache, dass in höheren Luftregionen wirklich die Grenzflächen zweier Luftschichten von sehr verschiedener Dichte wellenförmig deformiert werden, dürfte wohl das in *Fig. 80* wiedergegebene, vom Luftballon aus aufgenommene Luftbild gewähren.

den[1]), und wenn auch seine Kategorien manches zu wünschen übrig lassen, so haben sie doch bis auf den heutigen Tag eine gewisse Geltung behauptet. Wir beziehen uns zur Erklärung des Sachverhaltes auf die *Wolkentafel* (*Taf. I*). Jene feinen weissen Wölkchen, deren Umrisse nur schwach angedeutet sind, und von denen auch der Unkundige, wenn er ihre von der des herrschenden Windes nicht selten abweichende Fortschreitungsrichtung betrachtet, leicht selbst bemerkt, dass sie in beträchtlicher Höhe schweben, sind die *Zirruswolken*; von ihnen liefern die Formen *a*, *b*, *c* unserer Tafel gute Bilder. Tiefer liegende Wolken erscheinen zu weiten, oft einen grossen Teil des Himmelsgewölbes einnehmenden Streifen

Fig. 80.



auseinandergezogen und werden dann als *Stratuswolken* (Form *f*) bezeichnet; ihnen ist auch die von *Ley* einem näheren Studium unterworfene Form *k* beizuzählen[2]). Den Uebergang von den Zirren zu den Straten vermitteln die *Zirrostratuswolken*[3]) (Form *a,,* *a,,* und besonders *d*). Ganz anders ist die durch ihre scharf markierte sphärische Gestalt ausgezeichnete *Kumuluswolke* beschaffen, welche an schönen Sommertagen die Physiognomie des Himmels bestimmt (Form *e*). Zwischen Stratus und Kumulus schaltet man zwei Zwischenformen ein, je nachdem der erste oder der zweite Typus als der vorherrschende anzusehen ist; so ist die *Stratokumuluswolke* (Form *h*) und die *Kumulostratuswolke* (Form *g*) zu unterscheiden. Wenn in den Wolken der letztbezeichneten Arten der Augenblick nahe heran-

[1]) *Luke Howard, Essay on the Modification of Clouds and on the Principles of their Production, Suspension and Destruction,* London 1802.

[2]) Diese Wolke ist nach *Ley* ein ziemlich sicherer Gewittervorbote.

[3]) Für die spezielle Form *a,,* ist der Name *Zirrusfaden* in Vorschlag gebracht worden.

rückt, in welchem die plötzliche Ausscheidung der bisher von der Wolke zurückgehaltenen Wassermassen erfolgt, so geht letztere in den *Nimbus* (Form *i*) über.

Was die Entfernung der Wolken vom Erdboden anlangt, so sind darüber von *Riccioli, Jakob Bernoulli, Grunert, Prestel* u. a. zahlreiche Messungen gemacht worden, aber erst die neuerdings von *Ekholm* und *Hagström* in Upsala (1885) ausgeführten systematischen Beobachtungen haben zu zufriedenstellenden Resultaten geführt. Je ein Theodolit war am Ende einer ausreichend langen Standlinie aufgestellt, an jedem derselben war ein Beobachter aufgestellt, und eine Fernsprechverbindung ermöglichte es diesen Beobachtern, sich über den Punkt der Wolke, den jeder von ihnen anzuvisieren hatte, thunlichst zu verständigen. So hatte man dann ein ebenes Dreieck, von dem eine Seite mit den beiden anliegenden Winkeln bekannt war, und da man auch die Neigung der Dreiecksebene gegen den Horizont zu messen in der Lage war, so war endlich auch die gesuchte Höhe als die vom dritten Eckpunkte des Dreieckes auf die Horizontalebene gefällte Senkrechte bekannt. Man darf hiernach annehmen, dass die Zirruswolken in einer durchschnittlichen Höhe von 7000 m schweben, doch gibt es, wie wir erfuhren (S. 215), auch feine Wolkengebilde in zweifellos noch grösserer Höhe.

Eine neue, wesentlich auf die Höhe, sowie auf die Richtung der bei der Entstehung der Wolken massgebenden Luftströmung Rücksicht nehmende Klassifikation der Wolken ist in dem unlängst von berufenen Forschern der Oeffentlichkeit übergebenen „Wolkenatlas“ [1]) durchgeführt worden [2]). Diese Gruppierung hat den grossen Vorteil, sich nicht bloss auf äusserliche Kennzeichen zu stützen; wir geben deren Grundzüge nachstehend vollständig wieder:

A. Getrennte oder geballte Formen (vorwiegend trockenes Wetter).	B. Ausgebreitete oder schleierartige Formen (vorwiegend regnerisches Wetter).
1. Höchste Wolken, im Mittel 9000 m.	
Zirrus.	Zirrostratus.
2. Mittelhohe Wolken, im Mittel 3000 bis 7000 m.	
Zirro- und Alto-Kumulus [3]) oder Kumulozirrus.	Altostratus oder Stratozirrus.
3. Niedrige Wolken, 1000 bis 2000 m.	
Stratokumulus.	Nimbus.

[1]) *Hildebrandsson-Koeppen-Neumayer*, Wolkenatlas, Hamburg 1890.

[2]) Von *Ley*, dem mit den Wolken und ihren Metamorphosen wohl am genauesten vertrauten Meteorologen, ist unlängst eine neue Einteilung der Zirruswolken gegeben worden; die Namen sind, nach *van Bebbers* Verdeutschung, diese: Lockenwolke, Spinnenfadenwolke, Schleierwolke (mit einer höckerigen Abart), Schleierdunst, körnige Lockenwolke, falsche (d. h. niedrig schwebende, aber im Aussehen den eigentlichen Federwolken sehr ähnliche) Zirruswolken. Von diesen letzteren werden dann wieder zwei Unterarten geschieden.

[3]) Man sieht, dass die neue Terminologie gewisse Kombinationen, wie Kumulozirrus, schafft, auf welche *Howard* verzichtet hatte, und dass sie durch Beifügung des Adjektivs *altus* (hoch) auch den räumlichen Verhältnissen bis zu einem gewissen Grade Rechnung trägt.

4. Wolken des aufsteigenden Luftstromes.

Kumulus; Basis 1400 m, Gipfel 1800 m.	Kumulonimbus; Basis 1400 m, Gipfel 3000 bis 5000 m.

5. Gehobene Nebel (bis höchstens 1000 m).

Stratus.	— — — —

Wie schon erwähnt, wird sehr häufig das in den Wolken enthaltene dunstförmige Wasser beim Herabgehen der Temperatur kondensiert und ballt sich dann in so grossen Tropfen zusammen, dass diese nicht mehr frei in der Luft schweben bleiben können, sondern dem Gesetze der Schwere folgend zu Boden fallen müssen. Wir haben es dann mit einem sogenannten *Niederschlage* zu thun, der aber in sehr verschiedenen Formen — als tropfbares Wasser, als Schnee und als Eis — zu uns gelangen kann. Wenn es sich bloss um die *Niederschlagsmenge* oder *Niederschlagshöhe*[1]) handelt, so kann man zwar von dem Aggregatzustande absehen und zuwarten, bis die festen Ausscheidungen im sammelnden Gefässe (*Ombrometer*) durch Schmelzung gleichfalls in den tropfbaren Zustand übergegangen sind; unter dem physikalischen Gesichtspunkte dagegen interessiert uns jede der Niederschlagsformen besonders.

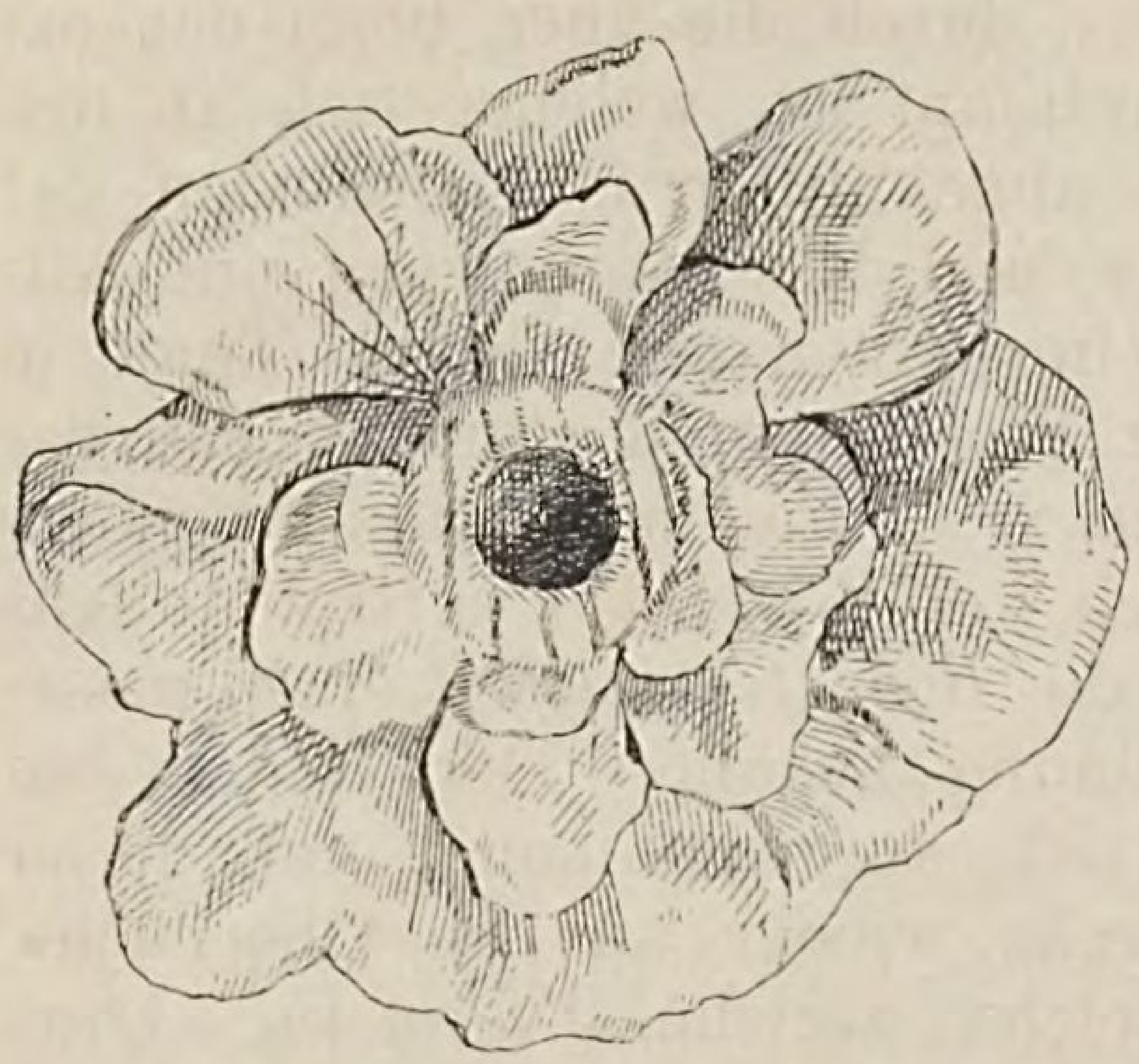
Die mechanische Wärmetheorie gewährt, wie *v. Bezold* gezeigt hat, die Möglichkeit, die Veränderungen, welche ein gegebenes Luftquantum beim Uebergange aus einem Gleichgewichtszustande in einen anderen und von einer Höhenlage zu einer anderen erfährt, genau zu verfolgen. Mit *Hertz* unterscheidet man vier Zustandsformen der Luft: im *Trockenstadium* ist derselben Wasser ausschliesslich als Dampf beigemengt; im *Regenstadium* ist das Wasser teilweise noch dampfförmig, teilweise aber auch schon tropfbarflüssig; im *Hagelstadium* verbinden sich die drei Aggregatzustände gasförmig, flüssig und fest; im *Schneestadium* endlich gibt es dampfförmiges und flüssiges Wasser. *v. Bezold* weist nun nach, dass man, je nachdem die Luft in einem dieser vier Stadien angelangt ist, die *adiabatischen Veränderungen* (s. o.), bei welchen Störungen des Wärmegleichgewichtes ausgeschlossen sind, und die *isothermischen Veränderungen*, für deren Dauer die Temperatur konstant erhalten wird, durch Kurven und, wenn man auch Aenderungen in der Menge des Wasserdampfes zulässt, durch Flächen übersichtlich darzustellen vermag.

Jene Ausscheidungen, welche die Luft im Regen- und Schneestadium erfährt, bieten morphologisch nur insofern grösseres Interesse, als die Schneeflocken, wie schon *Kepler* wahrgenommen hatte, bei aller Vielgestaltigkeit einen *sechseckig-prismatischen Grundtypus* aufweisen. Dagegen legen die als *Hagelkörner* fallenden Eisstücke dem Forscher eine Fülle von Rätseln vor, welche noch keineswegs als gelöst gelten können. Wenn die Luft im Hagelstadium sich befindet, so kann es zu *Eisregen* im engeren Sinne und zu *Graupel-*

[1]) Dieses Wort hat natürlich nur dann einen Sinn, wenn angenommen werden darf, dass als Messgefäss ein grader Kreiszylinder von bestimmter Grundfläche allenthalben zur Verwendung kommt.

fall kommen, und die hierher gehörigen Erscheinungen lassen sich unschwer verstehen, indem eben wahrscheinlich Schneeflocken bei der wirbelnden Bewegung, die jedem Schneegestöber eigentümlich ist, zusammenstossen und zu einem grösseren Eiskügelchen von geringer Konsistenz gefrieren. Dies verhält sich aber ganz anders bei den Hagelkörnern, welche aus viel reinerem Eise bestehen und welche sich den Graupelkörnern gegenüber sowohl durch ihre Grösse als auch durch die oft abenteuerliche Mannigfaltigkeit ihrer Gestalten auszeichnen; wir bilden zum Belege dessen in *Fig. 81* ein an eine sich erschliessende Blumenknospe erinnerndes Hagelstück nach *Klossowsky* ab. Sehr gewöhnlich ist im Hageleise eine gewisse Schichtung, indem ein innerster sphäroidischer Vollkörper von geringer Durchsichtigkeit von mehreren nach aussen zu immer heller werdenden Schalen sich umschlossen zeigt.

Fig. 81.



Eine völlig genügende Theorie des Hagels ist, wie erwähnt, noch nicht aufgestellt worden, denn man muss auch darauf Rücksicht nehmen, dass das Fallen von Hagel regelmässig nur unter elektrischen (Gewitter-) Begleiterscheinungen beobachtet wird. Das ist freilich nicht so zu verstehen, als müsse die Hagelbildung, wie dies etwa *Volta* sich dachte, selbst auf einen elektrischen Vorgang zurückgeführt werden, vielmehr scheint einunddderselbe Bewegungszustand der Atmosphäre gleichzeitig, und in relativer gegenseitiger Unabhängigkeit, den Hagel und die für die Entstehung einer elektrischen Spannung notwendige Reibung (s. u.) zu erzeugen. *Hagel entsteht nur dann, wenn eine vertikal von unten nach oben gerichtete Bewegung der Luft sehr dampfreiche Luft rasch zu namhafter Höhe hinauftreibt.* Nach *Ferrel* hätte man sogar anzunehmen, dass sich ein förmlicher vertikaler Luftschlauch bildet, in dessen Achse die zuerst nur kleinen Eiskügelchen aufwärts getrieben werden, um so verschiedene Schichten überkälteten[1]) atmosphärischen Wassers zu passieren, beim Durchmessen jeder einzelnen sich mit einer neuen Eishaut (s. o.) zu überziehen und endlich seitlich aus jenem Zylinder, in dem sie entstanden, herausgeschleudert zu werden. *Reynold* hat auf experimentellem Wege Hagelkörner künstlich hergestellt, indem er — den mutmasslich von der Natur eingehaltenen Gang umkehrend — einen Strom leicht gefrorenen Dunstes auf ein kleines

[1]) Man weiss, dass im Zustande vollständiger Ruhe jede Flüssigkeit auch bei solchen Kältegraden tropfbar bleiben kann, bei welcher sie an und für sich gefrieren müsste; die leiseste Erschütterung genügt dann aber, um die Eisbildung einzuleiten.

Objekt wirken liess, welches sozusagen den Ansatzkern des Hagelkornes bilden sollte.

Spezielle Kondensationsformen der atmosphärischen Feuchtigkeit sind ausser den uns schon bekannten noch der *Thau*, der *Reif* und der *Rauhfrost*. Was ersteren anlangt, so galt bis vor kurzem unerschüttert die *Wells*sche Theorie, durch die aber bloss das erklärt wurde, dass der Thau Wasserdampf ist, welcher sich an den durch die nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Gegenständen der Erdoberfläche niedergeschlagen habe, und dass dann, wenn eine Abkühlung unter den Gefrierpunkt eingetreten ist, dieser Thau in Reif übergeht. Woher jedoch jener Wasserdampf stamme, das war eine offene Frage; später sind *Fusinieri, Cantoni* und ganz besonders *Aitken* auf die schon vor langer Zeit von *Gersten* [1]) vertretene Anschauung zurückgekommen, wonach die *Bodenfeuchtigkeit* einen massgebenden Einfluss auf die Thaubildung ausübt. Der Boden hat atmosphärischen Wasserdampf in sich aufgenommen, und dieser tritt in Gestalt kleiner Wasserkugeln wieder an die Oberfläche. Die Versuche *Aitken*s sind durch solche, welche *Wollny* im agrarphysikalischen Institute der Münchener technischen Hochschule anstellte, vollauf bestätigt worden. Den Reif und Rauhfrost hat *Assmann* mikroskopisch beobachtet und zumal letzteren aus langen krystallinischen Federn zusammengesetzt gefunden; durch diese entstehen oft die eigentümlichsten Reifbildungen, die man auch *Schneeguirlanden* nennt.

Atmosphärische Elektrizität. Die letzten Betrachtungen haben uns die Notwendigkeit nahe gelegt, das *elektrische Verhalten der Atmosphäre* ebenfalls zu berücksichtigen. Die Luft befindet sich ununterbrochen in einem Zustande der elektrischen Spannung, denn die wenigen Fälle, in welchen, zumal in den Polarländern, eine solche gar nicht vorhanden gewesen sein soll, lassen sich gewiss durch die geringe Feinheit der Beobachtungsinstrumente erklären. Ein solches Instrument besteht stets aus zwei getrennten Teilen: der *Aufnahmevorrichtung*, welche ein langer Stab oder auch der Strahl eines kleinen Springbrunnens sein kann, und dem *Messapparat*, bei dessen Konstruktion stets das von *Coulomb* mit so grossem Erfolge in die Elektrizitätslehre übertragende Prinzip der *Drehwage* (S. 39) als das beste erkannt worden ist. Mit Hilfe solcher *Luftelektrometer*, unter denen diejenigen von *W. Thomson, Peltier-Dellmann* und *Palmieri* die bekanntesten sind, hat man die *tägliche* und *jährliche Periode* der Luftelektrizität für jeden beliebigen Ort mit ziemlicher Sicherheit bestimmt.

Im allgemeinen ist die atmosphärische Elektrizität gewöhnlich positiv. Das zunächst meist geringe Potential (S. 46) wird verstärkt, wenn irgendwie Wasserausscheidungen aus der Luft in Gestalt von Regen, Hagel u. s. w. statthaben, denn, wie besonders

[1]) *C. L. Gersten, Dissertatio roris decidui errorem antiquum et vulgarem per observationes et experimenta nova excutiens,* Frankfurt a. M. 1733.

Palmieri ermittelt hat, kann jede Regen oder Schnee aussendende Wolke als eine ergiebige Elektrizitätsquelle angesehen werden. Mutmasslich steht nach *Spring* diese Steigerung der elektrischen Spannung in Verbindung mit der Thatsache, dass bei jeder elektrischen Ladung die Elektrizität selbst ausschliesslich auf der Oberfläche des betreffenden Körpers sich ansammelt. Wir wollen annehmen, dass n gleichgrosse Wasserkügelchen vom Radius r sich zu einer einzigen Kugel vom Radius ρ zusammenballen; die Gesamtoberfläche, auf welche sich ursprünglich die Elektrizität verteilte, war $4nr^2\pi$, während nach dem Akte des Gerinnens die gleiche Elektrizitätsmenge auf einer Kugelfläche von der Grösse $4\rho^2\pi$ Platz finden muss. Zur Bestimmung von ρ dient die Relation $\frac{4}{3}\rho^3\pi = \frac{4}{3}nr^3\pi$, woraus $\rho = r\sqrt[3]{n}$ folgt. Da nun ersichtlich $(n =) \sqrt[3]{n^3} > \sqrt[3]{n^2}$ ist, so hat sich die Fläche, über welche ein bestimmtes Quantum Elektrizität verteilt ist, verkleinert, und dieser Flächenverkleinerung muss eine Vergrösserung der Spannung entsprechen [1]).

Weit wichtiger als die *statische* Luftelektrizität ist die *dynamische*, welche sich in den Gewittern äussert; gewissermassen als eine Uebergangsform kann das *St. Elms-Feuer* angesehen werden, welches bei erhöhtem Spannungszustande über spitzen Gegenständen sich zeigt [2]). Die Anschauungen darüber, wie überhaupt die Luft elektrisch erregt werden kann, gehen zur Zeit noch weit auseinander. *Exner* geht davon aus, dass die Erde, wie früher bereits *Erman* und *Peltier* behauptet hatten, von hause aus als ein *geladener Konduktor* zu gelten habe, der isoliert im Raume schwebe, und die beim Regnen wahrgenommene Verstärkung des elektrischen Potentiales führe sich wesentlich auf die uns bekannte Verkleinerung der Aufnahmsfläche zurück. Dieser und der von *Arrhenius* aufgestellten Hypothese, wonach die *aktinische Einwirkung des Sonnenlichtes* der eigentlich massgebende Faktor wäre, steht nun grundsätzlich jene Auffassung entgegen, welche die eigentliche Ursache des Luftpotentiales, sowie seines so höchst veränderlichen Gefälles in *irgendwelchen Reibungsvorgängen* erblickt. *Andries, E. Gerland, Hoppe* haben sich neuerdings in diesem Sinne ausgesprochen, und vor allem hat *Sohncke* die Art der Reibung, welche die Luftelektrizität hervorbringt, scharf zu bestimmen gewusst. Durch Ballonfahrten ist es

[1]) Durch die lange fortgesetzten Messungen von *Elster* und *Geitel* ist ein fast vollständig paralleler Gang zwischen dem Potentialgefälle und der absoluten Feuchtigkeit (s. o.) der Luft festgestellt worden.

[2]) Gewöhnlich erscheint das St. Elms-Feuer auf Türmen, doch erwähnt schon *Plinius* der den aufrechtstehenden Speeren der Soldaten entströmenden Lichtbüschel, und mancher Alpenwanderer hat bereits, wenn er auf einem Hochgipfel vom Gewitter überrascht wurde, die Gefahr an dem das Ausströmen der Elektrizität begleitenden, eigentümlich singenden Geräusche, das sein Bergstock zu verursachen schien, rechtzeitig entdeckt. Die Darstellung des langsamen Ausgleiches im Versuche ist *Obermayer* gelungen, der an der Elektrisiermaschine positive und negative Büschel von sehr verschiedener Konstitution der leuchtenden Materie erzeugte.

sehr wahrscheinlich gemacht worden, dass die *Isothermfläche Null*, d. h. jene Fläche, für deren ganze Ausdehnung die Wasserkügelchen gerade im Begriffe stehen, ihren Aggregatzustand zu verändern, im Sommer eine verhältnismässig sehr tiefe Lage hat, nämlich nur 2000 bis 4000 Meter über der Erdoberfläche schwebt[1]). Unmittelbar jenseits der genannten Fläche werden sich (s. o.) Schichten vorfinden, die wesentlich aus überkältetem Wasser bestehen. Nun erhebe sich jener aufsteigende Luftstrom, von dem es als ausgemacht gelten kann, dass er jedes Gewitter einleitet; die Isothermfläche Null wird gehoben, tropfbar flüssiges Wasser dringt in die Region des überkälteten und des bereits erstarrten Wassers ein, und es vollzieht sich eine vollständige Durchdringung der Wasserteilchen verschiedenen Aggregatzustandes. *Die gegenseitige Reibung fester und flüssiger Wasserkügelchen ist aber bereits von Faraday mittelst der Dampfelektrisiermaschine als eine Ursache für die Entstehung kräftiger Elektrizität nachgewiesen worden.* Zur Zeit darf die *Sohncke*sche Hypothese als diejenige betrachtet werden, welche mit den sonstigen meteorologischen Erscheinungen sowohl als auch mit den Gesetzen der Physik im besten Einklange steht.

Wenn die Potentialdifferenz in den Ladungen der Erde und der Wolken oder auch zweier Wolken, von denen die eine vertikal über der anderen schwebt, hinlänglich gross geworden ist — und nach *Exner* kann diese Grösse bei zwei um 100 m von einander entfernten Wolken dieser Art bis auf 60000 Volt anwachsen —, so tritt ein *jäher Ausgleich* ein, der *Blitz* mit nachfolgendem *Donner*. Man unterscheidet dreierlei Arten von Blitz, den *Linien-* oder *Zickzackblitz*, der in gemässigten Breiten die gewöhnliche Form ist, den wohl vom gewöhnlichen *Wetterleuchten*[2]) zu unterscheidenden *Flächenblitz* und den *Kugelblitz*, der zuerst von *Arago* als eine allerdings seltene Art der Elektrizitätsausgleichung den beiden anderen an die Seite gestellt ward. Eine eigene, selbstverständlich noch weit seltenere Abart des Kugelblitzes bildet der *Perlblitz*, der von *Planté* abgebildet und studiert worden ist (*Fig. 82*)[3]). Unsere Einsicht in das Wesen des Blitzes ist in den letzten Jahren wesentlich gefördert worden durch die Ausbildung der *Momentanphotographie*, welche die Anfertigung vortrefflicher *Blitzphotogramme* ermöglichte.

Die *Geschwindigkeit* des Blitzes ist eine überaus grosse, mindestens derjenigen des Lichtes gleichkommende. Umgekehrt legt das Geräusche des Donners, welches völlig mit der jeden Entladungsschlag begleitenden Schallerscheinung übereinstimmt, in der

[1]) *Ciro Ferrari* hat gezeigt, dass die Isothermfläche vor dem Ausbruche eines Gewitters sich überhaupt in ziemlicher Unruhe befindet, zuerst sich senkt, dann wieder in die Höhe geht und hierauf eine abermalige Senkung erfährt.

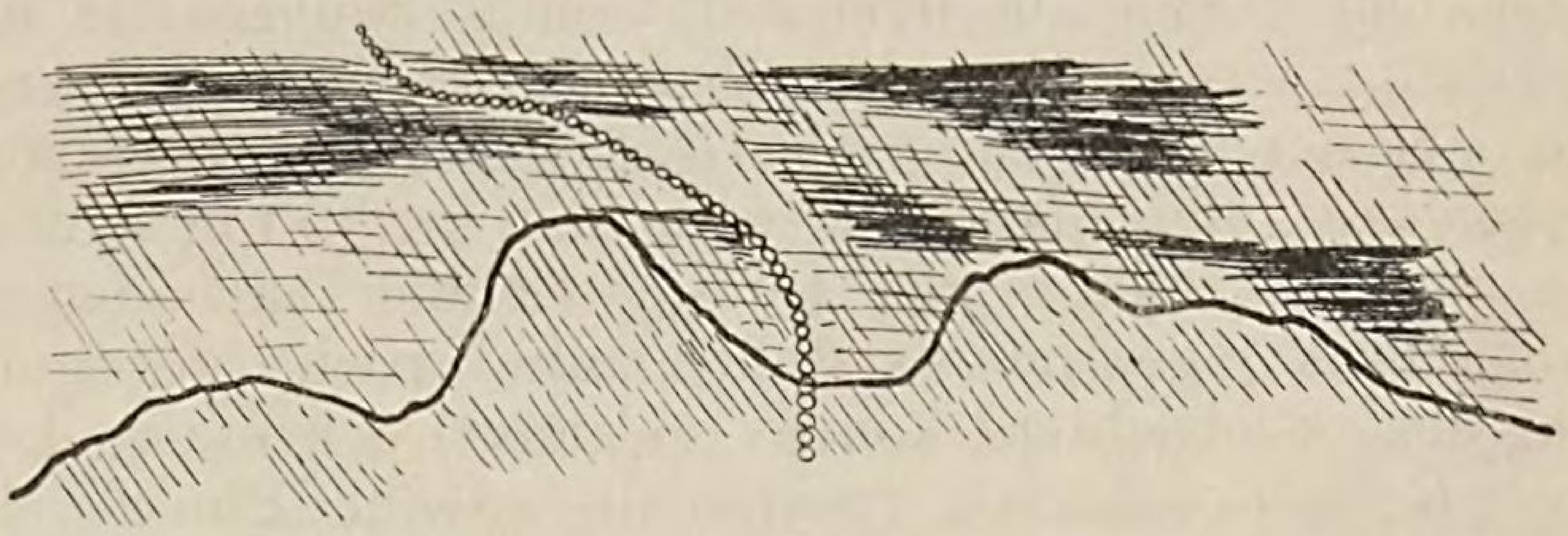
[2]) Das Wetterleuchten ist nichts anderes als der Reflex solcher Blitze, die zu weit entfernt sind, um sich durch den Donner auch dem Ohre noch vernehmbar zu machen. Wenn die reflektierenden Wolken hoch genug schweben, kann diese Lichterscheinung mehrere hundert Kilometer weit sichtbar sein.

[3]) Dass *Plantés* Bild auf Naturtreue Anspruch machen kann, ist der Verfasser, der im August 1888 im bayerischen Alpenvorlande selbst einen solchen Perlblitz gesehen hat, zu bezeugen in der Lage.

Sekunde bloss etwa 1000′ = 332 m zurück, und so hört man den Donner erst lange, nachdem man den Schein des Blitzes gesehen. Die zwischen Blitz und Donner verfliessende Zeit gestattet eine ungefähre Schätzung der Entfernung der Gewitterwolke vom Standpunkte des Beobachters.

Dass der Blitzstrahl gefährlich sein, gewaltige mechanische Arbeitsleistungen bethätigen, Bäume aber, in die er einschlägt, durch rapide Austrocknung ihrer wasserhaltigen Kambiumschicht langsamem Absterben zuführen kann, ist bekannt. Die *Blitzgefahr* ist nicht zu allen Zeiten gleich und auch räumlich nicht überall dieselbe; nach Untersuchungen *v. Bezolds* scheint sie einigermassen von der elfjährigen *Periode der Sonnenfleckenfrequenz*, nach solchen *C. Langs* auch von der im nächsten Abschnitte zu besprechenden längeren *Säkulärperiode der Klimaschwankung* abzuhängen; auch ist die von *Andries* ausgesprochene Vermutung nicht von der Hand zu weisen, dass die mit der steigenden Vermehrung und Erweiterung unserer Fabrikanlagen stetig zunehmende Versetzung der Luft mit

Fig. 82.



Verbrennungsprodukten den Charakter der Blitzschläge im ungünstigen Sinne umgestalte. Die in der Tropenregion (s. u.) so häufigen Gewitter führen, obwohl *Emin Pascha* und *Casati* auch am oberen Nil zum öfteren das Zünden der Blitze konstatieren konnten, doch im ganzen seltener zu Unglücksfällen, wogegen die an sich seltenen *Wintergewitter*, namentlich im hohen Norden, fast immer von verheerenden Schlägen gefolgt sind [1]). Der Mensch schützt sich gegen die Blitzgefahr bekanntermassen durch die unabhängig von dem Amerikaner *Benjamin Franklin* und dem mährischen Pfarrer *Prokop Divisch* (1696—1765) erfundenen *Blitzableiter*, für deren Konstruktion *Lodge* neue Regeln angegeben hat. Insbesondere will er gefährdete Gebäude (Pulvermagazine u. dgl.) durch förmliche *Drahtkäfige* gesichert wissen, durch welche in der That, wie *Melsens* und *Mach* dargethan haben, eine absolute Immunität der vom Metallgeflechte umgebenen Objekte erzielt wird. Wenn der Blitz eine Masse losen Sandes trifft, so werden die Sandkörnchen zu einem zylindrischen, oft sonderbar verästelten Gebilde zusammengebacken, dessen Aussenseite rauh,

[1]) Der Unterschied zwischen tropischen und anderen Gewittern wird durch Verhältnisse bedingt, auf welche erst weiter unten, wenn von der Mechanik der Luftströmungen gesprochen sein wird, eingegangen werden kann.

dessen achsialer Hohlraum aber glatt ist. Solche *Blitzröhren* werden meist fertig aus dem Boden gegraben, doch hat man zuweilen auch ihre Entstehung genauer beobachten können.

Für die Kugel- und Perlblitze hat *Planté* experimentelle Nachbildungen angegeben, indem er seine bekannten, eine hochgradig gespannte Elektrizität gewährenden *Sekundärströme* zur Anwendung brachte. Auch gelang es ihm so, einen elektrischen Funken derartig auf der Oberfläche eines Kondensators wandern zu lassen, dass eine vielseitig verzweigte Figur als getreues Analogon zu gewissen Zickzackblitzen entstand.

Manche der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen sind, wie wir sahen, von einer lebhaften Lichtentwicklung begleitet. Doch gibt es auch anderweite, einen selbständigen Charakter tragende optische Phänomene in der Atmosphäre, die in ihrer Gesamtheit einer besonderen Disziplin der atmosphärischen Physik, der *meteorologischen Optik*, das Dasein gegeben haben. Zu dieser wollen wir uns nunmehr wenden [1].

Lichterscheinungen in der Atmosphäre. Jeder Lichtstrahl, der nicht etwa aus dem Zenit eines Beobachters in dessen Auge gelangt, wird durch die *Strahlenbrechung* oder *Refraktion*, welche je nach der Entfernung des Licht aussendenden Gegenstandes eine *astronomische* und eine *terrestrische* sein kann, von seinem Wege abgelenkt und aus einer graden Linie, welche er nach den strengen Lehren der Optik eigentlich darstellen sollte, in eine gegen die Zenitalrichtung des Beobachters konvex gekrümmte krumme Linie, die sogenannte *Refraktionskurve*, verwandelt. Jeder Punkt, den man auf das Firmament projiziert sieht, erscheint deshalb weiter vom Horizonte entfernt, als er es thatsächlich ist. Wenn starke Dichtigkeitsunterschiede in der Luft vorhanden sind, so kann die Refraktionskurve in eine solche von doppelter Krümmung übergehen, und es tritt dann eine *laterale Refraktion* ein. Nach den umfänglichen zur Ermittlung des Betrages einer solchen Ablenkung vorgenommenen Messungen *v. Bauernfeinds* ist jedoch die Lateralrefraktion gemeiniglich so unbedeutend, dass man bei geodätischen Operationen von ihr gänzlich absehen darf.

Wahrscheinlich steht zu der durch die Refraktion der Strahlen bedingten Ablenkung des Lichtes das *Glitzern* oder *Szintillieren der Sterne* in naher Beziehung. Die ältere Ansicht *Aragos*, dass hier wesentlich nur ein *Interferenzphänomen* vorliege, hat neuerdings mehr und mehr aufgegeben werden müssen. Aus *Montignys* Beobach-

[1] Das Nordlicht (s. S. 205) muss, wie wir sahen, im weiteren Sinne ebenfalls den atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen beigezählt werden. Ganz anders aber dürfte es sich mit den *Irrlichtern* oder *Irrwischen* verhalten, welchen man allerdings noch zu *Voltas* Zeit eine elektrische Natur zuschrieb. Was es mit diesen unstet über sumpfigem Boden zuckenden Flämmchen für eine Bewandnis habe, ist noch nichts weniger denn aufgeklärt, aber an ihrer Realität hat man nach *Humboldts* und *Bessels* autoptischen Erfahrungen kein Recht zu zweifeln.

tungen ergibt sich, dass das Glitzern, was seine Stärke anlangt, nicht in allen Teilen des Himmelsgewölbes ein gleiches ist, und dass die Verschiedenheit in den Temperaturdifferenzen der von den Strahlen durchmessenen Luftschichten ihren Grund hat. Dies stimmt gut zu *Exners* Hypothese, dass die *Wellenflächen* des Lichtes innerhalb unserer Atmosphäre einer unausgesetzten Deformation unterliegen, und dass wesentlich diese Ungleichförmigkeit ein unstetes Funkeln der Licht aussendenden Punkte bedingt. Denn wenn namhafte Wärmeunterschiede vorhanden sind, so werden natürlich auch die Gestaltveränderungen der Wellenflächen besonders gross ausfallen. Ob auch das von *Humboldt* und *Schweizer* beschriebene *Schwanken der Sterne* eine ähnliche Ursache habe, muss noch dahingestellt bleiben, wiewohl es eben nicht unwahrscheinlich ist. Kürzlich hat *Weyer* in Kiel eine Schwankung eines Sternes erster Grösse (Antares) wahrgenommen, deren Amplitude nicht weniger denn 6^0 bis 8^0 betrug. Da jedoch der Beobachter, wenn er durch ein stabil aufgestelltes Fernrohr blickte, keine Schwankungen bemerkte, während sie, sobald er wieder bloss das freie Auge verwandte, auch sofort sich wiederum einstellten, so mag die Erscheinung grossenteils wohl eine *subjektive* gewesen sein.

Obwohl die Luft, wie wir wissen, von Substanzen, die dem ungehinderten Durchgange des Lichtes nachteilig sind, keineswegs frei ist, so ist doch ihre *Diaphanität* oder *Durchsichtigkeit* eine sehr grosse. Um den Grad derselben numerisch zu bestimmen, bedient man sich nach *Saussure* und *v. Schlagintweit* weisser Scheiben, denen konzentrisch ein weit kleineres schwarzes Scheibchen aufgeklebt ist. Man entfernt sich auf einer zur Scheibe in deren Mittelpunkt senkrechten Linie von jener und markiert den Punkt, für welchen der kleinere, sowie jenen, für welchen auch der grössere Kreis dem Auge entschwindet. Wenn die Luft schlechthin durchsichtig wäre, so würden sich die vorgenannten Entfernungen wie die Durchmesser der beiden Scheiben zu einander verhalten; in Wirklichkeit ist jedoch das Verhältnis immer ein etwas anderes, und der Unterschied gestattet einen Rückschluss auf die Abschwächung, welche das Licht beim Durchdringen einer Luftschicht von bekannter Mächtigkeit erfahren hat.

Ein Teil des durchgehenden Lichtes wird von der Atmosphäre zurückbehalten, absorbiert, ein weit grösserer aber wird reflektiert, wie schon daraus erhellt, dass anderenfalls die Sonne mit grellem Glanze sich auf völlig dunklem Hintergrunde abheben würde. *Ohne die diffuse Reflexion des atmosphärischen Lichtes würde es keine Tageshelle geben.* Die *Farbe des Himmels* ist durchgehends blau in verschiedenen Schattierungen; den *Grad der Bläue* bemisst das *Kyanometer*. Warum die Atmosphäre uns in blauem und nicht in anderem Lichte erscheint, das ist von Lord *Rayleigh* aufgeklärt worden, der den unbestimmten Vorstellungen *Lionardo da Vincis* und *Goethes* von der Wirkungsweise *trüber Mittel* einen bestimmten physikalischen Sinn unterzulegen lehrte. Die in der Luft schwebenden Partikeln sind im allgemeinen zu klein, um das Licht in der gewöhn-

lichen Weise zu zerstreuen, vielmehr werden weit mehr *kurzwellige* als *langwellige* Strahlen von jenen zurückgeworfen, und so werden unter tags die Farben Rot, Gelb und Orange so gut wie gänzlich ausgelöscht. Anders, wenn des Morgens und Abends die Sonnenstrahlen ihren Weg durch Ansammlungen von Dünsten, zumal von dem Zustande der Kondensation nahe befindlichen Wasserdämpfen, zu nehmen genötigt sind. Dann werden gerade die Strahlen von kurzer Wellenlänge absorbiert, während die orangegelben und roten Strahlen mit besonderer Leichtigkeit passieren und die Erscheinungen der *Morgen- und Abendröte* hervorrufen. Nicht recht im klaren ist man noch mit dem von verschiedenen Tropenreisenden, ganz besonders am Roten Meere, wahrgenommenen *smaragdgrünen Lichte*, welches die Sonne im Augenblicke des Untergehens aussenden soll. Nach *Omond* würde diese Färbung davon herrühren, dass das Sonnenlicht bereits durch Wasser hindurchgegangen wäre. So erweist sich, wie *H. C. Vogel*s spektroskopische Lichtprüfung dargethan hat, auch für die bekannte Azurfarbe der *blauen Grotte* auf Capri fast allein das aus dem Wasser kommende und nicht das von aussen eindringende Licht massgebend.

Das diffuse Himmelslicht ist *polarisiert*; nur gewisse von *Arago*, *Brewster* und *Babinet* aufgefundene und nach diesen Physikern benannte Punkte des Firmamentes machen von dieser Regel eine Ausnahme und verhalten sich *neutral*. Natürlich wechseln diese Punkte ihre Lage mit dem selbst veränderlichen Sonnenstande. *Busch* hat diese Aenderungen mit dem *Savart*schen Polariskope genau verfolgt und u. a. gefunden, dass die Bewegung des *Arago*schen und des *Babinet*schen Punktes gegen den von der Sonne um 180° verschiedenen Punkt die entgegengesetzte ist. Ueber eine weitere merkwürdige Eigenschaft des letztgenannten Punktes wird nachher zu berichten sein.

Vom Sonnenspektrum ist bereits früher (in Abschnitt I) ausführlicher gehandelt worden. Die meteorologische Optik hat zu den dortigen Angaben den Nachtrag zu machen, dass bei niedrigem Sonnenstande in jenem Spektrum gewisse Streifen auftreten, *welche die absorbierende Wirkung der irdischen Lufthülle bekunden.* Verschiedene Forscher, *Zantedeschi*, *Glaisher*, *Gladstone* und besonders *Janssen* haben sich mit diesen Absorptionsstreifen beschäftigt, und der letztgenannte hat sogar unter sehr schwierigen Verhältnissen eine Montblanc-Besteigung ausgeführt, um diese Studien zum Abschlusse bringen zu können. Er stellte so u. a. fest, dass mit dem Aufsteigen zur Höhe die Sauerstofflinien im solaren Spektrum eine fortschreitende Schwächung zeigen, und in einer Höhe von 4000 m über dem Meere schon konnten diese Streifen überhaupt nicht mehr gesehen werden. Damit aber war ein wichtiges Ergebnis erzielt: *In den gasförmigen Hüllen der Sonne selbst gibt es keinen Sauerstoff, und wenn derselbe sonach trotzdem dem Sonnenspektrum nicht zu fehlen scheint, so hat man es lediglich mit einer Erdlinie zu thun.*

Die Farbenerscheinungen in der Atmosphäre zeigen sich dann besonders kräftig, wenn die Sonne bereits unter den Horizont hinab-

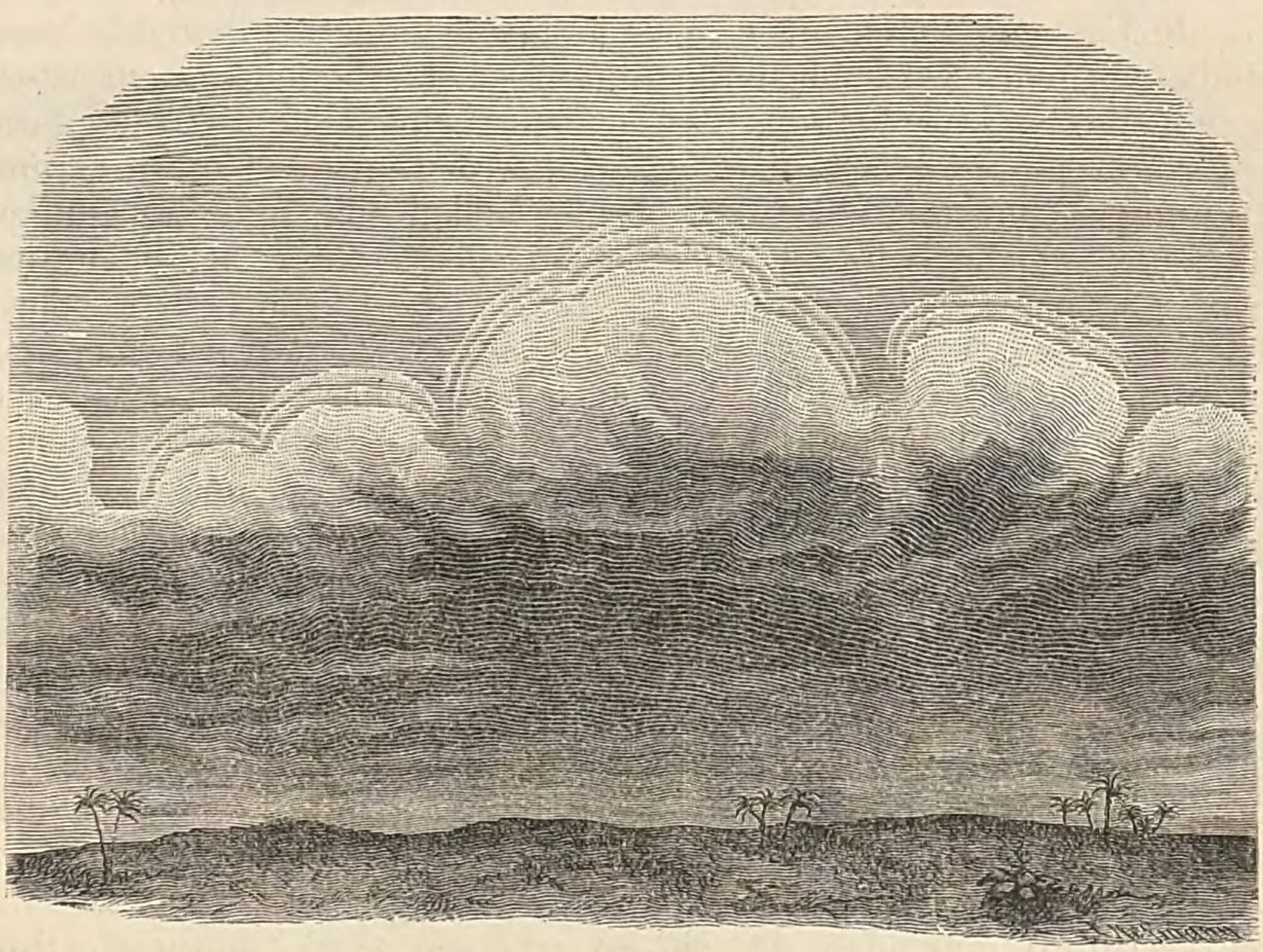
gesunken, wenn die *Dämmerung* hereingebrochen ist. Die Analyse des Dämmerungsvorganges, welche *v. Bezold* gegeben hat, lässt folgende Phasen deutlich von einander unterscheiden. Noch während die Sonne am Himmel steht, bildet sie den Mittelpunkt eines weisslichen Scheines, den sie aber allmählich durchwandert, und aus dem sie, wenn ihre Höhe etwa noch 2° bis 3° beträgt, bereits ganz herausgetreten ist. Ueber der verschwindenden Sonne hat sich so ein heller, gelblicher Fleck von genauer Kreisgestalt gebildet, während zugleich am östlichen Gesichtskreise die sogenannte *Gegendämmerung* sich geltend zu machen anfängt. Das *erste helle Segment* hat sich gebildet, und das *erste dunkle Segment* ist ihm gegenübergetreten. Bald nachher entsteht am Westhimmel das *erste Purpurlicht*, von dessen Aufleuchten das bekannte *Alpenglühen*, d. h. die hellrote Färbung steiler nach Westen gewendeter Stein- und Schneewände, ausgelöst wird; dasselbe ragt über das helle Segment zuerst als ein Kreissektor hervor, dessen Zentriwinkel an 270° umfasst, dann sinkt es allmählich in einen Halbkreis zurück, dessen Grenzdurchmesser mit dem oberen Rande des hellen Segmentes zusammenfällt, und zuletzt wird es ein flacher Rücken, der sich mehr und mehr verkleinert. Gleich nachdem das erste Purpurlicht verblasst ist, treten das *zweite dunkle* und das *zweite helle Segment* über dem jeweiligen ersten in die Erscheinung, und nicht selten kommt es auch noch zur Entwicklung eines *zweiten Purpurlichtes*, welchem ein *Nachglühen* der Berge und exponierten Gebäude auf dem Fusse folgt.

Dieser regelmässige Verlauf einer Dämmerung hat im letzten Drittel des Jahres 1883 und in den unmittelbar folgenden Jahren einige Modifikationen erlitten. Dieselben bestanden darin, dass erstlich das Spiel der Dämmerungsfarben ein bei weitem lebhafteres und wechselvolleres als sonst wurde[1]), und dass zweitens um die Sonne herum ein eigentümlicher Kranz von braunroter Färbung sich bemerklich machte, der nach seinem ersten Entdecker, *Bishop* in Honolulu, den Namen *Bishopscher Ring* erhielt. Derselbe war mehrere Jahre lang sichtbar und ist erst seit 1886 endgiltig wieder verschwunden; auch den Mond wollen glaubwürdige Zeugen von einem ähnlichen, aber schwächer leuchtenden Ringe umgeben gesehen haben. Unsere *Taf. II* zeigt den Ring in Gemässheit des von *Kiessling* mitgeteilten Farbenbildes. Die Wolken, welche man vom Luftballon aus nicht selten mit eigentümlich gefärbten Rändern, nach Art von *Fig. 83*, geschmückt sieht, zeigten solche *Aureolen* in der fraglichen Zeit auch unter gewöhnlichen Verhältnissen, vorzugsweise am Abend. Da im August 1883 der uns (S. 143) bekannte furchtbare Ausbruch des Krakatau-Vulkanes stattgefunden hatte, und da sich konstatieren liess, dass die von jenem Stosse ausgelöste Luftwelle in der Richtung von West nach Ost mehrmals den Erdball umkreist hatte, so lag die Annahme nicht eben ferne, dass fein

[1]) Der damals aufgekommene Ausdruck *Nebelglühen* bezeichnet das Wesen der Erscheinung ganz gut.

verteilte Aschenmassen bis zu sehr hohen Regionen unserer Lufthülle hinaufgetrieben worden seien und dort die *anomalen Dämmerungserscheinungen* bewirkt hätten, welche demnach in die Gattung der *Interferenzphänomene* einzureihen wären. Diese Hypothese hat vielfach Anklang gefunden; die Frage, ob sich denn die Aschenteilchen viele Monate und länger frei schwebend in der Luft erhalten könnten, wird dahin beantwortet, dass in der That ein langsames Sinken der gewaltsam mit der Luft vereinigten vulkanischen Materie nicht zu bezweifeln ist. Das langsame Verblassen des *Bishop*schen Ringes [1]) weist auf eine fortschreitende Reinigung der

Fig. 83.



Lufthülle von gröberen Bestandteilen hin, während feiner verteilte Massen sich bis zum heutigen Tage in ganz hohen Luftschichten erhalten zu haben und dortselbst die uns (S. 215) bereits bekannte Erscheinung der silberglänzenden Wölkchen hervorzubringen scheinen. Ein Umstand, der jedenfalls zu gunsten der vorgetragenen Hypothese spricht, ist ferner der, dass es *Kiessling* geglückt ist, in seinem *Nebelglühapparate*, einem mit den verschiedensten Stoffen in fein verstäubtem Zustande gefüllten Glasballon, bei durchgehendem Lichte ganz ähnliche wechselvolle Farbenspiele zustande zu bringen, und wenn man zudem erwägt, dass keineswegs nur bei der Krakatau-

[1]) Die äusserste Grenze des Ringes im Sonnenvertikale lag merkwürdigerweise nach den Messungen von *Busch* da, wo sich zur Zeit des Sonnenunterganges (s. o.) *Babinet*s neutraler Polarisationspunkt (s. o.) befindet.

Katastrophe, sondern auch schon bei vulkanischen Eruptionen von weit minder grossartigem Charakter die Luft in analoger Weise in Mitleidenschaft gezogen worden ist[1], so dürfen wir wohl behaupten: *Die Annahme, dass die Vermengung der Atmosphäre mit vulkanischen Auswürflingen grossartige optische Effekte nach sich ziehen kann, erklärt am besten die seit 1883 so viel erörterten ungewöhnlichen Lichterscheinungen.*

Auf ein anderes Feld werden wir geführt bei Erörterung der *Luftspiegelungen.* Wenn zwei irgendwie gelegene Luftschichten von sehr verschiedener Dichte unvermittelt in einander übergehen, so kann die plane Grenzfläche genau nach Art *eines ebenen Spiegels* wirken; meist ist diese Grenzebene horizontal, so dass das verkehrte Bild direkt über dem Gegenstande zu schweben scheint, doch ist von *Jurine* am Genfer See auch einmal *Lateralspiegelung* eines Schiffes, bewirkt durch eine senkrecht zum Seespiegel stehende Spiegelebene, beobachtet worden. Die sogenannte *Fata Morgana* wird nicht sowohl durch Reflexion als vielmehr durch die von *Biot* näher untersuchte *anomale Refraktion* hervorgerufen. Dann nämlich, wenn ausnahmsweise die Dichte der Luftschichten gegen den Boden hin zunimmt, so dass also immer der Lichtstrahl vom Einfallslote weg gebrochen wird, verwandelt sich die Refraktionskurve (s. o.) in eine nach unten konvexe krumme Linie, welche den eigentlichen Erdboden nicht mehr erreicht; so geschieht es, dass der Beobachter von einem entfernten Gegenstande nur den oberen Teil und von diesem zugleich, da die ins Auge gelangenden Strahlen von einem virtuellen Bilde dieses Teiles unterhalb des Bodens herzukommen scheinen, ein uneigentliches Spiegelbild der oberen Partie erblickt. Was darunter liegt, vermag dagegen gar keine Strahlen in das Auge zu senden, und so kann die Einbildungskraft des Betrachtenden nicht umhin, eine Wasserfläche an den Fuss des Objektes zu verlegen. Zumal in der Wüste, deren heisser Sand die unmittelbar darüber lagernde Luftmasse ungewöhnlich stark erhitzt und verdünnt, zeigen sich nicht selten derartige phantastische Luftbilder.

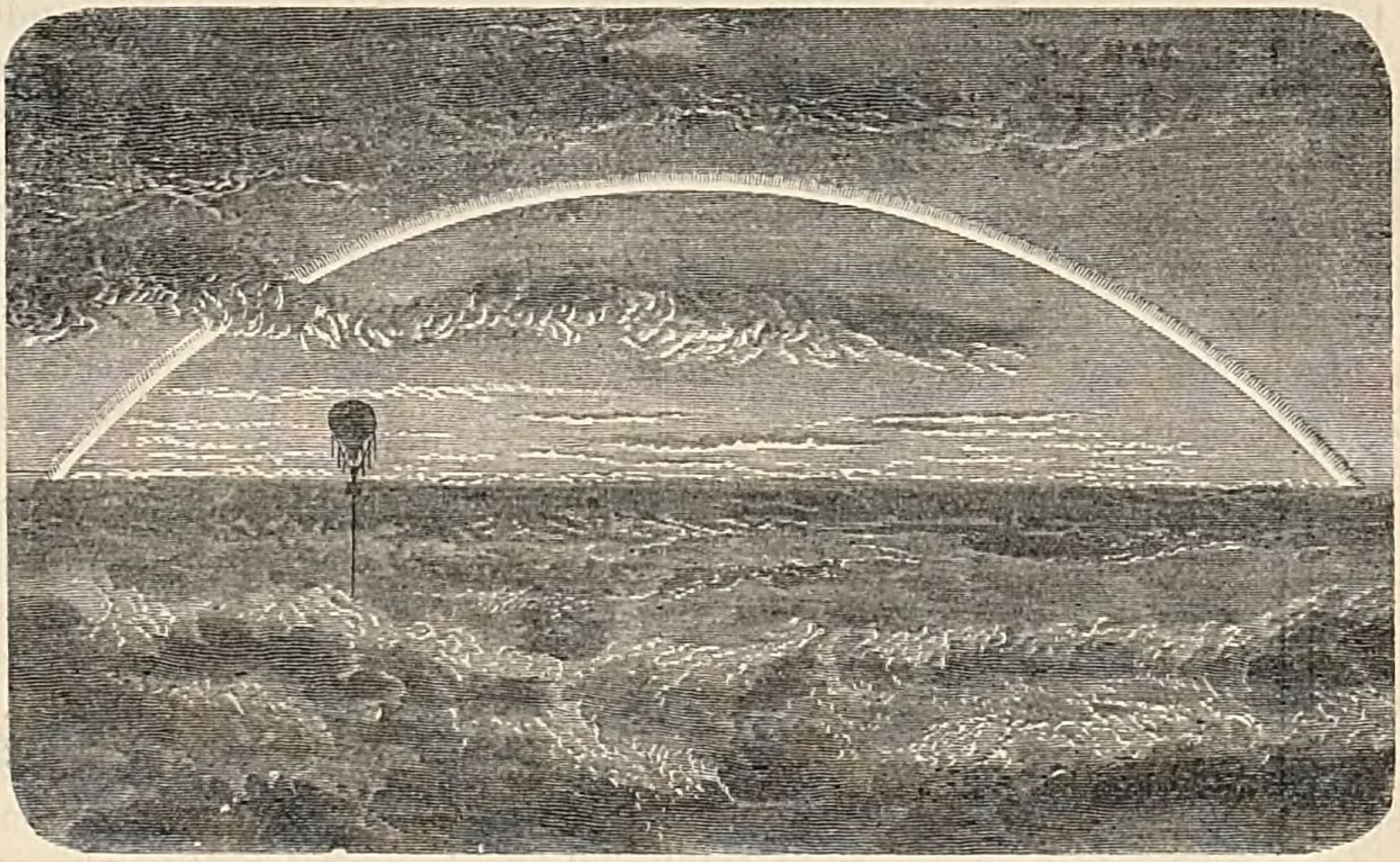
Wenn die Strahlen der Sonne — und unter gewissen Umständen auch anderer Lichtquellen[2] — auf die in der Luft schwebenden Wasserkügelchen fallen, so ergeben sich andere Lichterscheinungen, unter denen der *Regenbogen* obenan steht. Es ist dies, wie jedermann weiss, ein gefärbter Ring, der, wenn der Sonne gerade gegenüber eine „Regenwand“ sich befindet, auf dieser entsteht. Der *erste* und der *zweite Regenbogen* sind konzentrisch, und die Anord-

[1]) Aeltere Vorkommnisse abgerechnet, die *Traumüller* mit grossem Fleisse gesammelt hat, kommen hier besonders die Beobachtungen in betracht, welche *Riccò* 1886 in Palermo angestellt hat. Infolge der Eruption des Aetna, welche im Mai genannten Jahres statt hatte, erhielt die Sonne bald einen purpurnen, bald einen gelblich roten Schimmer, während die blaue resp. grüne Sonnenfärbung, die man 1883 und teilweise auch 1831 nach dem submarinen Ausbruche bei der Insel Ferdinandea wahrnahm, wohl wegen der nicht eben sehr grossen Aschenmengen, die der Aetna der Luft einverleibte, nicht erreicht wurde.

[2]) Von dem auch in neuerer Zeit nur selten beobachteten Phänomen des *Mondregenbogens* zählt *Aristoteles* aus eigener Erfahrung zwei Fälle auf.

nung der Farben ist bei beiden, wie ein einmaliger Augenschein lehrt, gerade die entgegengesetzte. Ueber die geometrischen Bedingungen der Entstehung dieser Ringe war sich bereits *Aristoteles* im klaren; er wusste, dass Sonne, Ringzentrum und Auge des Beobachters sich stets in grader Linie befinden müssen, dass somit beim Sinken der Sonne die Grösse des Bogens wächst, dass derselbe im Augenblicke des Unterganges ein vollständiger Halbkreis ist u. s. w. Auch bei der Erhebung des Auges über die Erde würde sich der Lichtbogen vergrössern müssen, doch bewirkt meistens, wie *Fig. 84* andeutet, eine Wolkenwand, dass man vom Luftballon aus nur ein kleineres Segment zu überschauen vermag. Jeder Mensch sieht demgemäss nur *seinen eigenen Regenbogen* und

Fig. 84.



nicht den eines anderen; das Substrat des Lichtbildes ist dagegen etwas objektiv verstandenes, und so kann sich sowohl, wie *Handel* geometrisch nachgewiesen hat, ein Spiegelbild des Regenbogens im Wasser bilden, wie derselbe auch andererseits, wenn es hinlänglich empfindliche Platten gäbe, der photographischen Aufnahme nicht unzugänglich sein würde.

Aristoteles war noch der Meinung, dass der Regenbogen einzig und allein durch Spiegelung des Lichtes entstehe. Schon die Araber sahen ein[1]), dass auch die Lichtbrechung dabei beteiligt sei, und der deutsche Mönch *Theodorich* führte im XIII. Jahrhundert den Beweis folgenden, noch jetzt die Basis der ganzen Lehre vom

[1]) Von *E. Wiedemann* haben wir erfahren, dass zwei sonst nicht näher bekannte persische Kommentatoren des optischen Lehrbuches von *Ibn Haitham* den Durchgang der Lichtstrahlen durch eine durchsichtige Glaskugel strenge richtig auf konstruktivem Wege verfolgt haben.

Regenbogen bildenden Lehrsatzes: *Beim ersten Regenbogen findet in jedem Wasserbläschen eine zweimalige Brechung und einmalige Reflexion an der Innenwand, beim zweiten Regenbogen findet ebenso eine zweimalige Brechung, aber auch eine zweimalige Reflexion an der Innenwand jedes Tropfens statt.* Von *Fleischer, De Dominis, Descartes* u. a. wurde die Theorie des Regenbogens weiter vervollkommnet, aber erst *Newton* konnte mittelst der von ihm miterfundenen Differentialrechnung die vor ihm ungelöste Frage beantworten: *Weshalb erscheint nur je ein ganz schmaler Kreisring der Regenwand in bestimmter Färbung?* Divergent aus den Wasserkugeln austretende Strahlen erregen die Netzhaut des menschlichen Auges viel zu schwach, um einen nachhaltigen Eindruck hervorzurufen; es erfolgt ein solcher vielmehr nur dann, wenn eine hinreichend grosse Anzahl roter, grüner u. s. w. Lichtstrahlen nach dem Austritte ein paralleles Büschel bildet. Das ist aber, wie die Rechnung zeigt, dann und nur dann der Fall, wenn der *Ablenkungswinkel* der betreffenden Farbe, d. h. der von dem eintretenden und wieder ausfahrenden Strahle gebildete Winkel, ein Minimum wird. Rechnung und Beobachtung stimmen trefflich zusammen; man kann dies auch im Laboratorium erhärten, wenn man, einem schon von *Roger Bacon* erteilten Rate folgend, durch sogenannte *Stäuber* künstliche Regenwände schafft, deren Tröpfchen den verschiedenartigsten Flüssigkeiten angehören, und nunmehr mit dem Theodoliten die einzelnen Ablenkungswinkel bestimmt.

Cartesius sprach bereits die richtige Ansicht aus, dass es an und für sich unzählig viele Reflexionen und damit auch unzählig viele verschiedene Regenbogen geben müsse, dass aber, weil bei der Spiegelung sehr viel Licht verloren gehe, nur der erste und zweite Regenbogen lichtstark genug seien, um vom Auge erkannt zu werden. Dass unter günstigen Verhältnissen auch der *dritte Regenbogen* — und zwar, wie es die Theorie fordert, auf der der Sonne zugekehrten Hälfte des Himmels — gesehen werden kann, unterliegt keinem Zweifel. Noch nicht vollständig aufgehellt sind die für die Bildung der *überzähligen Regenbogen* massgebenden Bedingungen; man sieht dann jenseits des Violett im Hauptregenbogen noch weitere, schwach glänzende Farbenringe erscheinen. Die Färbung des Regenbogens, der auch mitunter durch Projektion eigentümliche, wenn schon leicht begreifliche Gestaltsveränderungen erleidet [1]), ist keine durchaus notwendige Eigenschaft desselben; man sieht nämlich wohl auch auf dicken Nebelbänken, wie sie zumal im Hochgebirge die Regenwände vertreten, *weisse Regenbogen* erscheinen. Durch *Tyndalls* Experimente mit zerstäubtem Petroleum ist es sehr wahrscheinlich gemacht worden, dass die Färbung der Lichtbogen völlig aufhört, sobald die Grösse der spiegelnden und brechenden Flüssigkeitskugeln unter eine gewisse Grenze gesunken ist.

[1]) Von einem Höhepunkte aus auf eine Ebene projiziert, kann der Farbenkreis des Regenbogens, je nach Umständen, eine elliptische, parabolische oder hyperbolische Gestalt annehmen.

Auch gewisse andere, hier nicht ganz unerwähnt zu lassende Lichterscheinungen in der Atmosphäre gestatten eine Zurückführung auf Reflexion und Refraktion. Die *Lichtringe* und *Kränze* um Sonne und Mond, die sogenannten *Nebensonnen* und *Nebenmonde*, die oft zu äusserst komplizierten Gebilden werden [1]), haben *Galles* mathematischer Analyse zufolge wesentlich darin ihren Grund, dass das Licht durch die in der höheren Luft (S. 216) schwebenden sechseckig-prismatischen Eisnadeln hindurchgehen muss. Die kleinen *Höfe* dagegen, trüb schimmernde, einen Himmelskörper umgebende Kreise, sind Interferenzerscheinungen, wie sie auch beim Durchblicken durch eine mit Bärlappsamen bestreute Glasplatte nach einer Flamme sich zeigen. Das *Brockengespenst* endlich sowie die den Kopfschatten in manchen Fällen (*Zirkel Ulloas* [2]), *Heiligenschein*) umgebenden Ringe gehören gleichfalls hierher. Der Schatten selbst ist eine *objektive* Erscheinung, die anscheinende Vergrösserung ist zum einen Teile auf eine Kontrastwirkung, zum anderen aber darauf zurückzuführen, dass die Projektionsstrahlen die auffangende Nebelwand unter schiefen Winkeln treffen. *Subjektiv* sind hingegen die gefärbten Ringe, deren Durchmesser *Heim* gemessen und von 6° bis 80° schwankend gefunden hat. Für den Farbenkranz, welcher auf bethauten Wiesen hie und da um die menschliche Gestalt herum bemerkt wird, hat *Lommel* die zutreffende Erklärung gegeben: in den sphärischen Thauperlen findet einmalige Spiegelung und mehrmalige Brechung statt.

Die Bewegungsgesetze der Atmosphäre. Jede in der Atmosphäre vor sich gehende Bewegung nennen wir *Wind* (ἄνεμος). Die horizontale Richtung desselben bestimmen wir mit Hilfe der *Windfahne* [3]), den Winkel der wahren Windrichtung mit der Horizontalebene mit Hilfe des *Klinoanemoskopes* von *Dechevrens*; zur Messung der *Windgeschwindigkeit* und *Windstärke* endlich stehen uns die *Anemometer* [4]) zur Verfügung.

[1]) Bekannt sind besonders durch abenteuerliche Formen das *Balinger* (1541), *Römische* (1629), *Danziger* (1661) und *St. Petersburger Phänomen* (1794). In hohen Breiten, wo ja natürlich die Quantität des in der Luft schwebenden Eisstaubes eine grössere ist, sind solche Luftgebilde etwas minder ungewöhnliches; kaum findet man die Beschreibung einer Polarfahrt, in welcher nicht von dergleichen die Rede wäre.

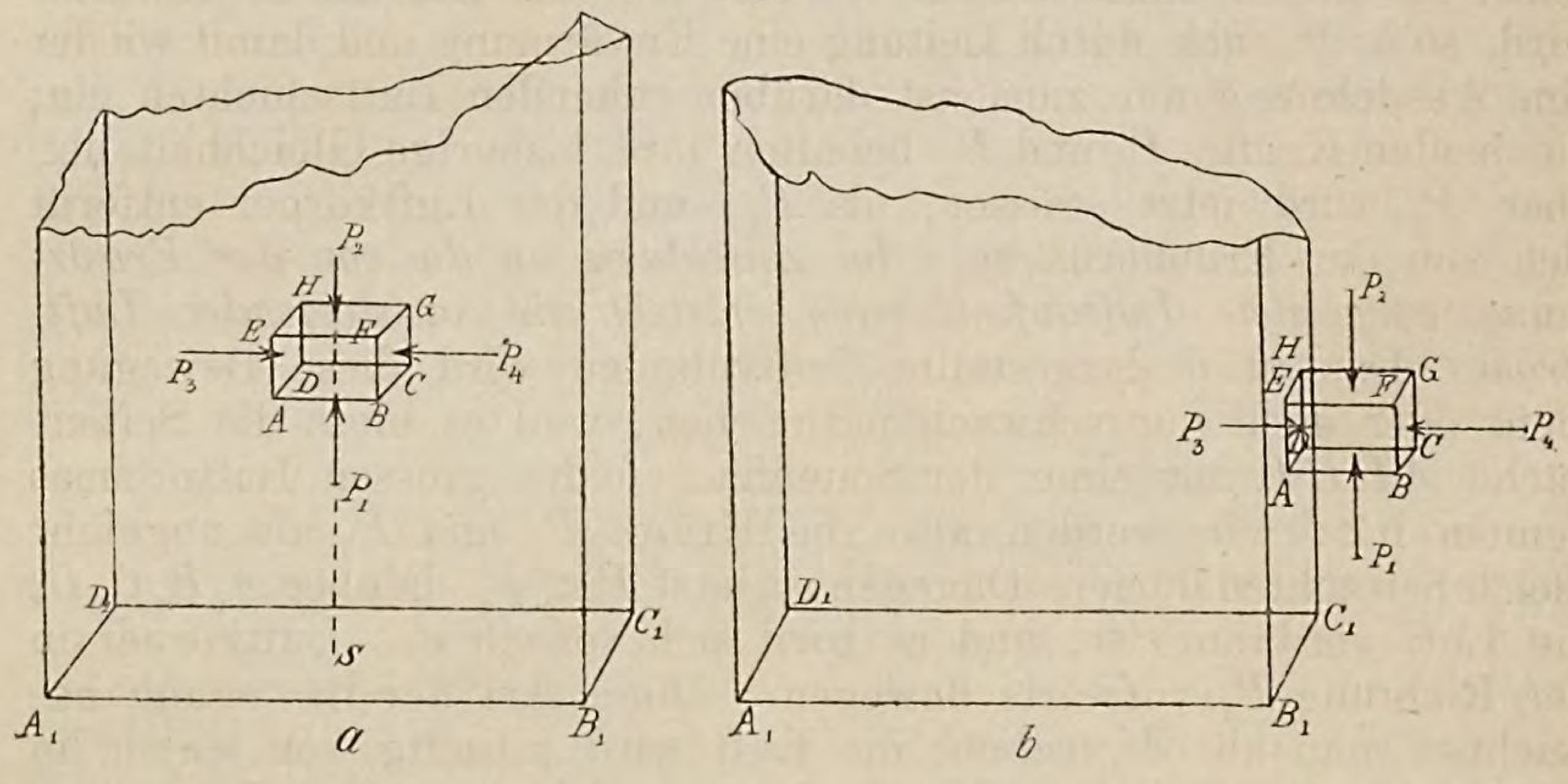
[2]) So genannt nach dem spanischen Astronomen *Don Antonio Ulloa* (1716 bis 1795), der die Gradmessungsexpedition nach Peru (S. 25) mitgemacht hatte.

[3]) Eine Windfahne war schon auf dem um 100 v. Chr. in Athen erbauten *Turme der Winde*, der heute noch steht, angebracht. *Terentius Varro* verbesserte dieselbe in der Weise, dass der Beobachter, ohne das Zimmer zu verlassen, die Windrichtung ersehen konnte (Anbringung eines über einer Kreisscheibe oder *Windrose* spielenden und zur Achse senkrecht stehenden Zeigers an der Stange der Fahne).

[4]) Windgeschwindigkeit und Windstärke stehen in einem Zusammenhange, den zumal *W. Koeppen* der quantitativen Messung zu unterwerfen gesucht hat. Das erstgenannte Element liefert uns das *Skalenanemometer* von *Robinson*: vier Hohlhalbkugeln sind symmetrisch an den Eckpunkten eines horizontal frei spielenden Achsenkreuzes angebracht, und die Schnelligkeit ihrer Umdrehung wird durch ein System von Zahnrädern markiert. Direkt misst die lebendige Kraft des Windstosses die *Windstärketafel*, die im Prinzipe bereits

Die *Theorie des Windes* darf sich ausschliesslich auf bekannte Thatsachen der allgemeinen Physik stützen[1]). *Fig.* 85 sucht den Vorgang, auf den es hier zunächst ankommt, zu erläutern und zumal die Thatsache klar zu machen, *dass jede lokale Wärmezuführung in erster Linie einen aufsteigenden Luftstrom, in zweiter eine*

Fig. 85.



horizontale Luftbewegung nach sich zieht. Das Viereck $A_1 B_1 C_1 D_1$ stelle in *a* wie *b* die willkürlich gross zu denkende Fläche des Erdbodens vor, welche lokal — durch lebhaftere Sonnenstrahlung — stärker erwärmt wird; über dem Viereck als Basis denken wir uns einen nach oben unbegrenzten prismatischen Raum konstruiert, und alsdann grenzen wir ein parallelepipedisches Luftvolumen ab, welches beidemal $ABCDEFGH$ heissen und in *a* so liegen möge,

von *Danti* (*Anemographia*, Bologna 1578) erdacht, aber erst in unseren Tagen für die wirkliche Beobachtung von *Wild* eingerichtet worden ist. Ein Rechteck kann sich um seine obere schmale Seite als horizontale Achse frei drehen; der Winkel, um welchen das Brett vom Winde aus seiner vertikalen Ruhelage herausgedreht wird, ist der Stärke des Windstosses proportional.

[1]) Unsere Worte spielen an auf die *Astrometeorologie* vergangener Zeiten, auf die das ganze Altertum und Mittelalter wie ein roter Faden durchziehende Anschauung, dass die Himmelskörper es in letzter Instanz seien, welche die Bewegungen der Atmosphäre regeln. Heutzutage denkt man ungleich zurückhaltender über diese Möglichkeit. Man räumt ein, dass *zwei Faktoren*, von der Sonnenwärme selbstverständlich abgesehen, innerhalb gewisser Grenzen eine Einwirkung ausüben können: *die wechselnde Bedeckung der Sonnenoberfläche* mit Flecken einerseits und *die Anziehung von Sonne und Mond* (die anderen Himmelskörper sind gar zu weit entfernt) andererseits. Dem ersterwähnten Momente wird im nächsten Abschnitte eine besondere Beachtung zu widmen sein; bezüglich des zweitgenannten hat sich durch die theoretischen Untersuchungen von *Laplace* und *Bouvard*, sowie durch die Diskussion von Beobachtungen, welche *Elliot, Dade, Neumayer, Balfour Stewart* und viele andere angestellt haben, nachstehendes ergeben: *Es existiert eine der Ebbe und Flut des Meeres vergleichbare, durch die Attraktion von Sonne und Mond bewirkte atmosphärische Bewegung, welche sich unter den Tropen bestimmt, anderwärts nur ganz schwach in den Barometerschwankungen ausspricht, keinenfalls aber intensiv genug ist, um bei allgemeinen meteorologischen Betrachtungen ein Gewicht in die Wagschale zu werfen.*

dass sein Schwerpunkt sich genau vertikal über dem Schwerpunkte S von $A_1 B_1 C_1 D_1$ befindet. Auf jeden in ihr befindlichen Körper drückt die Luft allseitig gleich stark; wenn wir also, um nur *eine* Vertikalebene zu betrachten, die vier Kräfte ins Auge fassen, welche bezüglich auf die Seitenflächen $ABCD$, $EFGH$, $ADHE$ und $BCGF$ wirken, so sind dieselben im Falle des Gleichgewichtes selbst als gleich anzunehmen. Wenn aber die Basisfläche erwärmt wird, so tritt auch durch Leitung eine Erwärmung und damit wieder eine Ausdehnung der zunächst darüber ruhenden Luftschichten ein; die beiden Kräfte P_3 und P_4 behalten ihre bisherige Gleichheit bei, aber P_1 wird jetzt grösser, als P_2, und der Luftkörper entfernt sich von der Erdoberfläche. *Im Anschlusse an die von der Erwärmung eingeleitete Luftauflockerung entsteht ein aufsteigender Luftstrom.* Das in b dargestellte Luftvolumen wird diese Bewegung nicht oder doch nur schwach mitmachen, weil es bloss die Seitenfläche $ADHE$ mit einer der Seitenflächen des grossen Luftprismas gemein hat; wir werden also die Kräfte P_1 und P_2 als ungefähr gleich betrachten dürfen. Dagegen ist jetzt $P_3 < P_4$, da über $A_1 B_1 C_1 D_1$ die Luft verdünnt ist, und es wird sich sonach der Luftkörper in der Richtung P_4 vorwärts bewegen. Diese Art der Bewegung bezeichnet man als *Aspiration*; die Luft wird allseitig von aussen in den durch den aufsteigenden Luftstrom sich leerenden Raum zunächst über der Erwärmungsstelle *hineingesogen*, und indem die weiter oben sich abkühlende Luft wieder schwerer wird und herabsinkt, bildet sich ein vollständiger *Kreislauf* aus, der, falls nicht anderweite Faktoren hemmend eingreifen, so lange andauert, bis vollkommenes Wärmegleichgewicht zwischen dem Flächenstück $A_1 B_1 C_1 D_1$ und seiner ganzen Umgebung hergestellt ist.

Nicht für jeden Wind liegen die Verhältnisse so einfach, dass wir ihn ohne weiters auf das soeben erläuterte Grundgesetz zurückzuführen vermöchten, wohl aber ist dies in vielen und gerade den wichtigsten Fällen angängig. Das beste Beispiel gewähren die *Land- und Seewinde,* welche in ihrer regelmässigen Abwechslung zumal auf den Inseln zu wehen pflegen, und welche, da sie im griechischen Archipelagus seit uralten Zeiten die Schiffahrt regeln, für *Anaxagoras* und *Theophrast* die Veranlassung bildeten, die Luftverdünnung als letzte Ursache einer jeden Luftbewegung zu bezeichnen. Während des Tages erhitzt sich das die Wärmestrahlen begierig aufsaugende Festland weit mehr als das benachbarte Meer; deshalb bildet sich der aufsteigende Luftstrom über dem Lande, und die Luft strömt vom Meere herein. Gegen Abend lässt dieser Wind nach, er lullt vollständig ein, und dann nimmt die Bewegung die entgegengesetzte Richtung an, indem nunmehr das Wasser wärmer [1]) als das Festland ist und aspirierend auf die über letzterem lagernden Luftmassen wirkt. Die *Monsune* oder *Jahreszeitenwinde,*

[1]) Flüssigkeiten besitzen im allgemeinen eine grössere *Wärmekapazität*, als feste Körper, d. h. sie sind schwerer bis auf einen gewissen Temperaturgrad in ihrer ganzen Masse zu bringen, halten aber die ihnen einmal im-

welche vor Nutzbarmachung der Dampfkraft die Navigationsverhältnisse des Indischen Ozeanes mit suveräner Gewalt regelten, haben einen in der Hauptsache gleichen Ursprung. Während die Sonne (scheinbar) auf der Nordhalbkugel verweilt, erhitzt sich das indische Festland und zwingt die Seeluft, nach Nordosten zu strömen, wogegen in der anderen Jahreshälfte, wenn also die Sonne zwischen dem Aequator und dem Wendekreise des Steinbockes sich bewegt, das Indische Meer einen grösseren Vorrat von Wärme besitzt und ein regelmässiges Strömen der Luft von Nordost gegen Südwest bewirkt. Der Windwechsel in den östlichsten Teilen des Indischen und den angrenzenden Teilen des Grossen Ozeanes trägt einen etwas anderen Charakter, auf dessen Eigenart gleich nachher ebenfalls eingegangen werden soll [1]).

Als *Tagmonsun*, der in seiner Art dem Wechsel der Land- und Seewinde sich sehr ähnlich verhält, kennzeichnet *Supan* die *Berg- und Thalwinde*. In sehr vielen Gebirgsthälern, am bestimmtesten wohl auf den Hochebenen von Innerasien, bemerkt man, dass in der Frühe der Wind vom Thaleingange gegen die Berge hin und in dem zweiten Teile des Tages umgekehrt gegen das Thal hin weht. Wenn die Sonne steigt, so hat *Hann* einfach diese Thatsache erklärt, erwärmt sich die Luft rascher als die Berggehänge und erhält so die Tendenz, an letzteren in die Höhe zu steigen, während später, wenn die Luft erkaltet, sie ein Gefälle gegen die Ebene hin bekommt. In manchen Thälern, so z. B. im Ober-Engadin, nimmt man scheinbar abnorme Windbewegungen wahr, die aber, wie *Billwiller* zeigte, sich einfach durch den Umstand erklären, dass das Thal keinen regelrechten Abschluss besitzt. Das Engadin und das Thal von Bergell, um bei dem erwähnten Beispiele zu bleiben, stellen eigentlich nur ein einziges, durch den niedrigen Maloja-Pass nicht gehörig getrenntes Thal dar, und damit ist eine Kommunikation der Atmosphäre über die Passhöhe hin ermöglicht, welche kein so klares Alternieren, wie in eigentlichen Thälern, aufkommen lässt. Da nicht selten am unteren Ausgange der Thäler oder in diesen selbst grössere Binnenseen gelegen sind, so könnte man erwarten, dass die Erscheinungen des Land- und Seewindes einerseits, des Berg- und Thalwindes andererseits sich kombinieren und komplizieren müssen, indessen ist dies, wenn *Jul. Müllers* auf den Genfer See bezügliche Untersuchungen eine Verallgemeinerung zulassen, nicht der Fall, und es behauptet das zweite der beiden genannten Phänomene ein ausschliessliches Recht [2]).

prägnierte Wärme auch mit weit grösserer Zähigkeit zurück, während der Festboden die mit den eingeschluckten *leuchtenden* Strahlen aufgenommene Wärme bei Nacht durch Absorption *dunkler* Strahlen gegen den kalten Weltraum wieder von sich gibt.

[1]) Es versteht sich von selbst, und die Beobachtungen auf Berggipfeln bestätigen es, dass in grösserer Höhe über der Erdoberfläche die Bewegungsrichtung jeweils die umgekehrte sein muss, da sonst kein Kreislauf zustande kommen könnte.

[2]) Es kann wohl geschehen, dass infolge einer nur vorübergehenden oder andauernden Trübung der Wetterlage eine der beiden alternierenden Strö-

Die Passatwinde. Die beiden Weltmeere, welche von Polarkreis zu Polarkreis sich ausdehnen und nicht, wie der Indische Ozean, schon in der Gegend des Aequators von grossen Landmassen begrenzt werden, sind der Schauplatz eines regelmässig, Jahr aus, Jahr ein, in gleichem Sinne sich vollziehenden Luftaustausches; wir nennen diese Winde die *Passate*, während sie von den Engländern in richtiger Würdigung des Umstandes, dass nur ihnen die Möglichkeit des Verkehrs zwischen alter und neuer Welt zu danken ist, als *Handelswinde („Trade-winds“)* bezeichnet werden. Allerdings wehen die Passate nicht über dem ganzen Bereiche der Meere, sondern eine breite, zum Aequator nicht ganz symmetrisch gelegene Zone, die sich, dem Laufe der Sonne folgend, im Laufe des Jahres nicht unerheblich verschiebt, kennt überhaupt keine anderen als aufsteigende Luftbewegungen und wird deshalb die *Zone der Kalmen oder Windstillen* genannt. Auch der höhere Norden und Süden wird von den Passaten nicht berührt, und es sind sonach diese Dauerwinde an die eigentlichen *Passatgürtel* gebunden, deren Grenzen übrigens keine ganz bestimmt ausgesprochenen, auf der nördlichen andere als auf der südlichen Halbkugel und auch im Atlantik nicht genau dieselben wie im Pazifik sind. Als weiteste Grenzen, bis zu denen das Wehen der Passate sich bemerklich macht, mögen etwa die Parallelkreise von $\pm 35^{0}$ Breite angenommen werden[1]).

Mit der von den Passaten eigentümlichen Richtung hat es die folgende Bewandnis. Der *Unterpassat* hält auf der Nordhalbkugel die Richtung *NE-SW* und auf der Südhalbkugel die Richtung *SE-NW* ein, während der *Oberpassat* jeweils in der entgegengesetzten Richtung, also resp. in den Richtungen *SW-NE* und *NW-SE* weht. Bei der Annäherung an die Passatgrenze steigt der Oberpassat mehr und mehr gegen den Unterpassat herab, und beide Winde durchdringen sich in der Weise, dass nicht etwa vollkommene Windstille entsteht, sondern dass in diesen Breiten *regelmässige Westwinde* wehen *(Doldrumzone)*. Der sogenannte *australisch-chinesische Monsun* verdient strenge genommen diese Bezeichnung

mungen einmal ausbleibt. Wenn im Gebirge der übliche Bergwind am späten Nachmittage nicht einsetzt, erblickt der Ortskundige in dieser Unregelmässigkeit, meist nicht ohne Grund, ein Anzeichen dafür, dass die Witterung eine andere werden will. Den *Etesien* des Aegäischen Meeres, deren regelmässiges sommerliches Wehen von Nord nach Süd durch eine über dem afrikanischen Kontinente vor sich gehende Luftauflockerung grössten Masstabes bedingt wird, fehlt die Halbjahrsgegenströmung überhaupt.

[1]) Auf diesen Parallelkreis ist bei Untersuchungen über theoretische Meteorologie schon zum öfteren, so von *Ferrel*, *Oberbeck* u. a., hingewiesen worden, und der Verf. zeigte, dass er — oder, richtiger ein Parallelkreis in jener Breite φ, für die $\sin^2\varphi = \frac{1}{3}$ ist — als eine *Knotenlinie* der Atmosphäre aufzufassen ist. Wäre die Lufthülle eine homogene, allseitig gleich dicke Kugelschale, so würde, wie auch die von Wärmedifferenzen ausgelösten Bewegungen in dieser Hülle beschaffen sein möchten, längs dieser Knotenlinie gar keine Bewegung nach auf- oder abwärts herrschen. Die Lehre von den Gezeiten wird uns zu diesem merkwürdigen Parallelkreise wieder zurückführen.

nicht, vielmehr hat man es hier mit einem Nord-Passatwinde zu thun, der ausnahmsweise bis in die südliche Hemisphäre — ungefähr 10° bis 15° weit — eindringt und durch die gleich zu besprechenden Ursachen so stark nach rechts abgelenkt wird, dass er aus Nordwest oder sogar aus West bläst.

Eine von richtigen Gesichtspunkten ausgehende Erklärung des Wesens der Passate hat zuerst *Hadley*[1]) gegeben, und *Kant* hat die von seinem Vorgänger mehr nur angedeuteten Gründe wissenschaftlich weiter ausgeführt. Stünde die Erde still oder hätte sie bloss eine revolutorische Bewegung (S. 1), so würde das einfache Prinzip der Luftauflockerung und des aus dieser resultirenden Kreislaufes ausreichen, um einzusehen, dass auf der Nordhalbkugel der Unterpassat ebenso wie auf der Südhalbkugel der Oberpassat ein Nordwind, jeder der beiden anderen Passate aber ein Südwind sein müsste. Nun dreht sich aber die Erdkugel um ihre Achse, und diese Rotation hat die einfache mechanische Konsequenz: *Auf der nördlichen Halbkugel wird jeder horizontal bewegte Körper nach rechts, auf der südlichen Halbkugel wird er ebenso nach links abgelenkt.* Wenn die ursprünglich meridionale Bewegung der Luftteilchen sich mit dieser Tendenz nach rechts oder links kombiniert[2]), so muss das Wesen der Passate sich so gestalten, wie wir es eben auseinandergesetzt haben.

Zyklonale und antizyklonale Luftbewegung. Die ältere Meteorologie, wie sie insbesondere durch den gefeierten Namen *Doves* vertreten war, glaubte die Winde überhaupt denjenigen Gesetzen dienstbar machen zu können, welche wir soeben als für die Passatzone massgebend kennen gelernt haben[3]). Später lernte man einsehen, dass — obwohl, wie wir bald sehen werden, eine gewisse Gesetzmässigkeit auch für die Gesamtatmosphäre besteht — das momentane Spiel der Winde wesentlich eine Folge der im Augenblicke herrschenden *Luftdruckverteilung* ist. Es existieren innerhalb

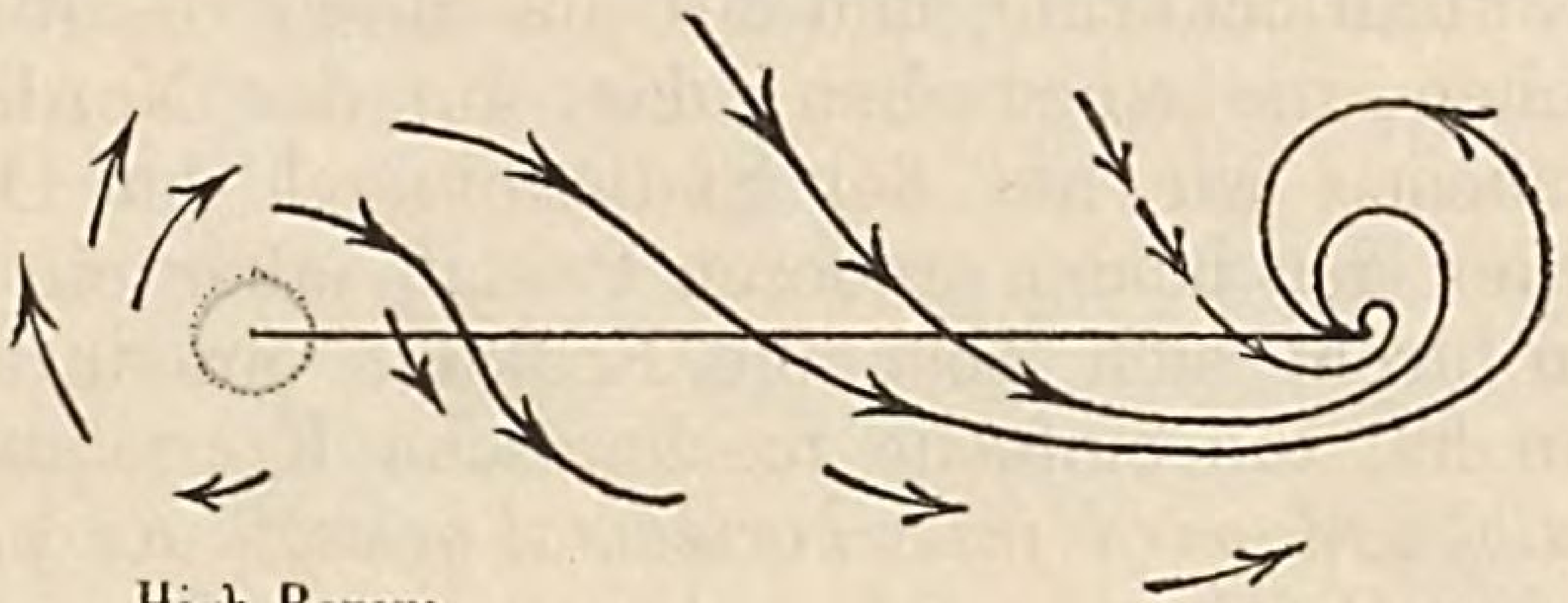
[1]) *G. Hadley, The Cause of the general Tradewind, Philosophical Transactions,* 1735. S. 58 ff.

[2]) Die Mechanik zeigt, dass, wenn v die Geschwindigkeit des horizontal bewegten Körpers, φ die geographische Breite ist, unter welcher er seine Bewegung beginnt, die in der ersten Sekunde bewirkte Ablenkung $= a r v \sin \varphi$ gesetzt werden kann, wo a eine konstante Grösse, r den Erdhalbmesser bedeutet. Das Azimut der Bewegung kommt ersichtlich in diesem Ausdrucke gar nicht vor; allerdings ist derselbe nur ein Näherungsausdruck, der aber jedenfalls soviel feststellt, dass, *Doves* Ansicht entgegen, auch der längs eines Parallelkreises wehende Wind eine Richtungsänderung erleiden muss.

[3]) *Dove* war der Meinung, dass eine regelmässig wehende *Aequatorialströmung* und eine ebenso regelmässig wehende *Polarströmung*, wenn beide nahe der Erdoberfläche sich ins Gehege geraten, sozusagen mit einander kämpfen; aus diesem Streite resultiere eine regelmässige Drehung der Windrichtung. Die lange Zeit als Schlüssel zu allen Geheimnissen der Witterungskunde verehrte *Dovesche Winddrehungsregel* besagt: Auf der Nordhalbkugel folgt der Wind beim Umspringen dem Zeiger der Uhr, und auf der Südhalbkugel ist der Drehsinn der umgekehrte. Ganz unrichtig ist diese übrigens schon bei *Plinius* zu findende Regel freilich nicht, vielmehr hat sie für einen Teil Mitteleuropas ihre relative Richtigkeit.

eines oft nicht sehr grossen Bezirkes Stellen relativ hohen und relativ niedrigen Luftdruckes, *barometrische Maxima* (*Elevationen*) und *barometrische Minima* (*Depressionen*). Nun bemerkte man allmählich, zumal in Amerika, dass die Luft stets ein Gefälle vom hohen gegen den niedrigen Druck hin erhalte, und *Galton* sprach es mit Bestimmtheit aus [1]), dass diese Bewegung keine gradlinige, sondern eine *Wirbelbewegung* sei. *Fig. 86* stellt diese Luftwirbel dar, wie *Galton* sie sich dachte. Die wirklich korrekte Form er-

Fig. 86.



hielt das neue *barische Windgesetz* aber erst durch *Buys-Ballot*, durch den es folgendermassen gefasst wurde:

Die Luft strömt an sich von einem barometrischen Maximum nach einem barometrischen Minimum hin, wird aber dabei durch die Erdumdrehung nördlich vom Aequator nach rechts, südlich vom Aequator nach links abgelenkt. Kehrt man auf unserer Halbkugel dem Winde gerade den Rücken zu, so weist die linke etwas nach vorne gehobene Hand auf das Gebiet niedrigen Druckes, die rechte etwas nach rückwärts gehobene Hand auf das Gebiet hohen Druckes hin.

Aus diesem Gesetze, welches nachmals von *Sprung* mit einem strengen mathematischen Beweise versehen worden ist, folgt zunächst, dass der eigentliche Minimalpunkt von den nach ihm hinströmenden Luftteilchen niemals erreicht, von ihnen vielmehr nur in spiraligen Bahnen umkreist wird. Die Bewegung in der Nähe des Maximums heisst *antizyklonal*, und man darf sagen, dass, gewisse demnächst zu besprechende Ausnahmen abgerechnet und bei Beschränkung auf die unteren Luftschichten — denn von den Bewegungen in der Höhe wissen wir noch wenig Sicheres und erwarten uns eine erweiterte Kenntnis erst von der Ausbildung des Wolkenstudiums und der Ballonfahrten — sämtliche Winde sich als *Zyklonen* und als *Antizyklonen* auffassen lassen. Ehedem belegte man mit ersterem Namen hauptsächlich die gewaltigen und gefährlichen *Wirbelstürme der Tropenregion* (*Hurricanes* in den amerikanischen, *Taifuns* in den indisch-chinesischen Gewässern), allein wenn wir

[1]) *Galton, A Development of the Theory of Cyclones, Proceedings of the Royal Society of London*, 12. Band. S. 385 ff. Der Gedanke einer zentripetalen Bewegung vom Maximum zum Minimum hin findet sich übrigens, wie *v. Bezold* ermittelte, schon zu Anfang dieses Jahrhunderts bei *Brandes* (Beiträge zur Witterungskunde, Leipzig 1820).

selbst darauf nicht Rücksicht nehmen wollen, dass auch in den gemässigten Breiten eigentliche Drehstürme sich wohl ereignen können[1]), so müssen wir doch sagen, dass der Gegensatz zwischen diesen furchtbaren Störungen des atmosphärischen Gleichgewichtes und einem sanften Westwinde mehr nur ein *gradueller, quantitativer* als ein *prinzipieller, qualitativer* ist.

Auch für die Stärke der Windbewegung lässt sich ein sicherer Anhalt gewinnen, wenn man die *Isobaren* oder *Linien gleichen Luftdruckes* konstruiert. Eigentlich erfüllen natürlich alle Punkte gleicher Barometerhöhe eine Fläche; auf der Karte aber sind nur die aus dem Meereshorizont reduzierten Barometerstände [2]) eingetragen und Kurven durch diejenigen Punkte hindurch gelegt, welchen gleiche Zahlen zukommen. So erhält man um den Minimalpunkt herum Kurven, die im allgemeinen geschlossen sein werden, und wenn man alle diejenigen Linien sich noch gezogen denkt, welche zu sämtlichen Isobaren senkrecht stehen, so bezeichnet man diese Orthogonalkurven als *Gradienten*. Dieses Wort hat aber zugleich noch eine andere, eine metrische Bedeutung, welche sich in folgender Definition ausspricht: *Der Grösse nach ist der barometrische Gradient der Druckunterschied, der zwei um 111 km*[3]) *in der Richtung der Orthogonalkurve aus einander liegenden Punkten entspricht.* Der von *Stevenson* zum *Buys-Ballot*schen Gesetze gemachte Zusatz lautet dann:

[1]) Die furchtbare Windsbraut, welche am 14. Mai 1886 das Städtchen Crossen an der Oder heimsuchte, scheint nach dem Befunde der zerstörten Wälder, deren Stämme nach allen Richtungen verstreut lagen, den Wirbelstürmen zugerechnet werden zu müssen, und nicht anders verhält es sich wohl auch mit dem Sturme, der am 19. August 1890 in Dreux hauste und von *Flammarion* einlässlich beschrieben wurde.

[2]) Hier ist der selbstverständliche Satz benützt, dass die Intensität des Luftdruckes in dem Masse nachlässt, je höher die betreffende Stelle sich über der Erdoberfläche, eine je geringere drückende Schicht sich demnach über ihr befindet. Allerdings ist die Beziehung zwischen Luftdruck (Barometerstand) und Meereshöhe nicht die der Proportionalität; die Ergründung des Gesetzes wurde durch die zuerst von *Pascal* (1648) praktisch geübte *barometrische Höhenmessung* notwendig gemacht, und *Halley* erkannte es zuerst in der einfachen Form, in welcher wir es auch nachstehend ableiten. Unter der Voraussetzung, dass das *Mariotte-Boyle*sche Theorem Giltigkeit habe, dass also das Volumen jeder gasförmigen Masse dem auf ihr lastenden Drucke umgekehrt proportional sei, kann man das Gewicht G der Volumeinheit Luft dem Drucke proportional setzen, und es ist, wenn k einen Erfahrungsfaktor, p aber den Druck bedeutet, $G = kp$. Bei einer unendlich kleinen Zunahme dz derjenigen Höhe, in welcher das betreffende Luftvolumen sich befindet, ändert sich der Druck um dp, und dieses dp ist gleich dem Gewichte der unendlich kleinen Luftsäule von der Basis 1 und der Höhe dz; man hat also $dp = G\,dz$. Setzen wir für G seinen Wert kp ein und integrieren, so wird

$$z = \frac{1}{k} \log p + \text{Konst.}$$

Verstehen wir ferner unter b den Barometerstand an fraglicher Stelle, unter b_0 denjenigen im Meeresniveau und bedenken wir, dass sich die Barometerstände wie die Drucke verhalten, so wird schliesslich $z = \text{Konst.}\,(\log b_0 - \log b)$. Spätere Forscher, zumal *Laplace, Rühlmann* und *v. Bauernfeind*, haben gezeigt, wie viele Korrektionen an diesem einfachen Ausdrucke anzubringen sind, um ihn für die altimetrische Praxis brauchbar zu machen.

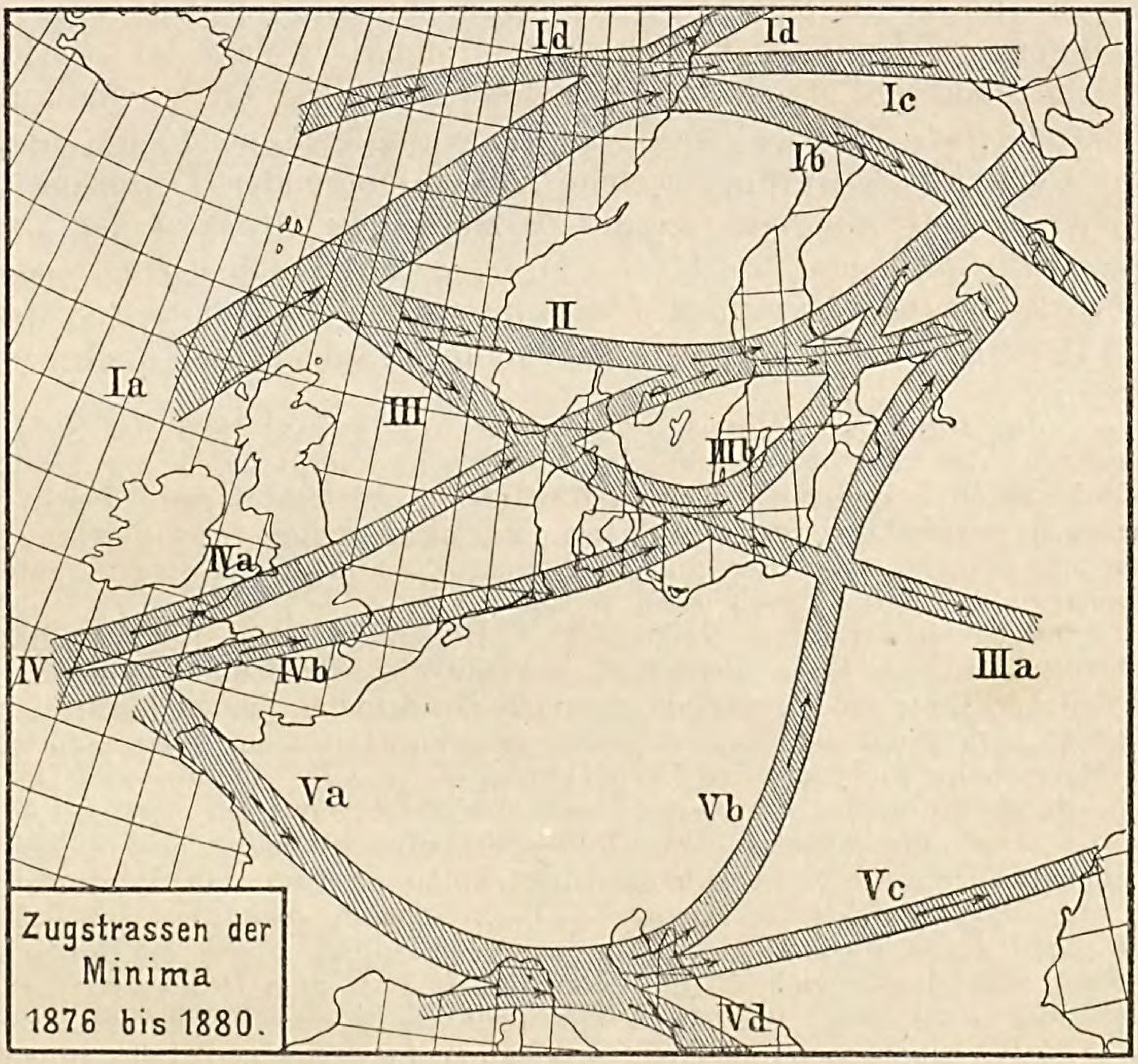
[3]) Dies ist bekanntlich die Länge eines Aequatorialgrades.

Die Windstärke ist angenähert proportional dem Gradienten, sie ist am stärksten da, wo die Isobaren am dichtesten an einander geschart liegen, am geringsten da, wo diese Kurven weit aus einander treten.

Ferner gilt die Regel, dass die Windrichtung mit dem Gradienten einen Winkel einschliesst, der wesentlich durch die Reibung der bewegten Luft an der Unterfläche bedingt erscheint. Eine wenn auch nur scheinbare Ausnahme von dieser Regel werden wir sehr bald kennen lernen.

Die Isobarenkarten bilden die Basis der gesamten *Wetterprognose,* weil aus ihnen für die allernächste Zukunft Richtung und

Fig. 87.



Stärke des herrschenden Windes ersehen werden kann. Die Antizyklonen bewirken im Durchschnitte gleichmässig-heitere Witterung, während die Veränderlichkeit der Witterung wesentlich mit zyklonalen Luftbewegungen zusammenhängt. Aus diesem Grunde ist es wünschenswert, sich vonvornherein darüber zu orientieren, aus welcher Gegend der Windrose die Depressionen, die Zentren der Zyklonalwirbel, zu erwarten sind; nach dieser Seite haben uns die Studien *van Bebbers* über die Zyklonalwinde und über die *Zugstrassen der barometrischen Minima* wünschenswerte Aufschlüsse gebracht. In *Fig. 87* sehen wir die wichtigsten dieser Bahnen vor uns, wie sie

vom Atlantischen Meere aus, welches schon vor hundert Jahren von *Hamilton* als „der grosse Schiedsrichter unserer Witterungsverhältnisse“ bezeichnet worden ist, sich durch unseren Erdteil hindurchziehen. Nur Strasse II ist, wie man sieht, eine einheitliche; alle übrigen Depressionswege sind mehrfach gespalten. Für Deutschland ist Strasse IVb die wichtigste; die auf ihr einherschreitenden Zyklonen sind für Wind und Wetter bei uns massgebend. Kaum bedarf es besonderer Betonung des Umstandes, dass nicht sämtliche Minima eine genau vorgezeichnete Route verfolgen; Fälle von Laune sind keineswegs ausgeschlossen; aber doch darf daran festgehalten werden, dass die wohl von jedermann gehegte Hoffnung, beim Fortschreiten der Wissenschaft auch *Prognosen auf längere Sicht* ermöglicht zu sehen, ganz wesentlich an die Erforschung der von der grossen Mehrzahl der Minima eingeschlagenen Zugstrassen geknüpft ist.

Winde mit vorherrschend vertikalen Gradienten. Bei allen denjenigen Winden, deren Wesen uns bisher beschäftigte, war, wenn auch die Luftströmung keine vollständig horizontale genannt werden konnte, doch die horizontale Bewegungskomponente weit grösser, als die vertikale. Es gibt aber auch Winde, bei denen das Umgekehrte der Fall, die Stärke der Luftbewegung also nach *vertikalen Gradienten* zu messen ist. Hierher gehören schon der gewöhnliche aufsteigende Luftstrom und jene absteigende Bewegung, welche die uns bekannte *Luftzirkulation*[1]) in Gang erhalten; hier aber soll wesentlich von anderen Vertikalwinden die Rede sein, welche ein besonderes Interesse beanspruchen können.

Zunächst gehören hierher die *Tornados* und *Wettersäulen*, denen auch die mitunter eine förmliche Verbindung zwischen Himmel und Erde herstellenden *Tromben* oder *Windhosen*[2]) beizuzählen sind. Nach *Ferrel*s theoretischer Analyse des Phänomenes stellt ein Tornado einen Trichter dar, der von der Erdoberfläche an sich langsam nach oben zu ausbreitet, und in dessen Innerem eine sehr lebhafte, zyklonale Wirbelbewegung stattfindet. Am Fusse der Wettersäule hat eine starke Reibung statt, welche die Vertikalbewegung bald zerstört, sofern nicht durch die im oberen Teile des Luftschlauches stetig vor sich gehende Kondensation von Wasserdampf bisher

[1]) Wir haben hier ein Wort gebraucht, welches gegenwärtig in der Meteorologie eine grosse Rolle spielt, insofern nämlich, als neben dem speziellen Studium jedes einzelnen Windes an der Hand des barischen Windgesetzes (auf *synoptischem Wege*) auch das allgemeinere der grossen und einheitlichen Bewegungen in der Atmosphäre betrieben wird. Die Theorie der *allgemeinen Luftzirkulation* ist durch *Ferrel, Oberbeck, H. v. Helmholtz, Werner Siemens* u. a. bereits weit gefördert, immerhin aber ist der Gegenstand noch kaum spruchreif für eine gemeinverständliche Darstellung. Was geleistet werden kann, leistet in sehr anerkennenswerter Weise eine kleine Schrift von *Pernter* (Wien 1890).

[2]) Solche Staubhosen kommen besonders häufig in der mesopotamischen Ebene vor. *Suess* will sogar die in dem altassyrischen „Izdubar-Epos“ vorkommenden wandelnden „Himmelssäulen“ mit diesen Staubhosen identifizieren.

latente Wärme frei und durch diese Wärmeerhöhung ein erneuter Anlass zum Aufsteigen der unten befindlichen Luft gegeben wird.

Von Grund aus anders ist es mit den *Fallwinden* bestellt, Winden, welche von der Höhe eines Gebirges aus in die angrenzenden Thal- und Tieflandgegenden hinabwehen. Die Lehre von den Fallwinden ist hauptsächlich von *Hann* ausgebildet worden; *Erk* und *H. Meyer* haben dieselbe in ein festes System gebracht. Es gibt *kalte* und *warme* Fallwinde, oder, wie man mit Bezugnahme auf die bekanntesten Lokalwinde dieser Art sich ausdrückt, Winde vom *Bora-Typus* und Winde vom *Fön-Typus.* In die erstere Klasse reihen wir zunächst die im nördlichen Teile der Adria gefürchtete Bora (slavische Lokalbezeichnung) ein, sodann den *Mistral* in der Provence, den durch *v. Wrangell* näher erforschten *kaukasischen Fallwind* am Schwarzen Meere, den kretischen *Idireus*, den kleinasiatischen *Pagreus* (nach *Partsch*); Fön-artig sind, neben dem am ganzen Nordrande der Alpen und vornämlich in der Urschweiz nur zu wohl bekannten eigentlichen *Fönwinde (ventus Favonius?)* der *Vent d'Espagne* am Nordabhange der Pyrenäen, der von *Theophrast* gut gekennzeichnete warme Wind der thessalischen Ebene, der *Terral* in Spanien, der *Rotenturmpasswind* in Siebenbürgen, der *Chinookwind* am oberen Missouri, und auch im deutschen Mittelgebirge — Harz, Thüringerwald — sind von *Assmann* ähnliche Fallwinde erkannt worden [1]). Die Art der Entstehung ist für beide Typen ganz die gleiche. Eine Wasserdampf enthaltende Luftmasse stürzt im adiabatischen Zustande (S. 216) herab und erleidet hierbei nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie eine Kompression und Erwärmung, die ungefähr 1^0 für 100 m Fallhöhe ausmacht, während der normale Temperaturunterschied für zwei um diese Strecke vertikal aus einanderliegende Niveauflächen (s. den nächsten Abschnitt) bloss etwa $\frac{1}{2}{}^0$ betragen würde. Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass die Luftschicht, welche das herabfallende Luftquantum zu durchmessen hat, sich im *stabilen* Gleichgewichtszustande befindet; dann entsteht also ein dem Fön verwandter Wind, der auch sehr trocken ist, denn während die Menge des mitgeführten Wasserdampfes sich nicht irgend wesentlich ändern kann, steigt die Temperatur, und der Dampf entfernt sich so immer weiter von der Sättigung. Wenn — ein seltenes Vorkommnis — die Luft im *indifferenten* Gleichgewichte ist, so erregt der Fallwind gar keinen besonderen Eindruck, weder den der Wärme, noch den der Kälte, und als kalter Wind wird er, trotz der auch diesmal vorhandenen Temperatursteigerung, empfunden, falls das Gleichgewicht *labil* war. Was die Winde vom Bora-Typus anlangt, so werden sie um so bestimmter als kalte Winde sich fühlbar machen, je energischer sich die Temperatur-

[1]) Mit den warmen Winden Grönlands und mit den heissen Winden der Anden-Pässe hat es nach *Paulsen* resp. nach *Harrington* doch vielleicht eine verschiedene Bewandnis, und deshalb gedachte ihrer unsere obige Zusammenstellung nicht. Dass jedoch in kalten Ländern ein Fön ganz wohl sich bilden kann, das wird durch *P. Vogels* Beobachtungen, die er auf der am Nordrande des südlichen Eismeeres gelegenen Insel Süd-Georgien anstellte, bewahrheitet.

abnahme nach oben zu geltend macht, mag auch die Vertikalerhebung der Höhe, von welcher der Wind kommt, eine wenig beträchtliche sein.

Den Anlass zum Absturz kann die aspirierende Wirkung eines in nicht zu grosser Entfernung vom Gebirgskamm dahin ziehenden barometrischen Minimums geben *(Herabziehen)*; es kann aber auch über einem Plateau eine leichtere Luftmasse neben einer schwereren lagern, so dass erstere über den Abhang gedrängt wird *(Hinabschieben)*. Die Fönwinde in den Pyrenäen und Alpen werden regelmässig durch Depressionen ausgelöst, welche vom Meerbusen von Biscaya her sich über Mitteleuropa weg bewegen. Wenn die hier entwickelten Anschauungen richtig sind, so muss auch am Südabhange der Alpen sich ein *Nordfön* einstellen können; dass dies auch wirklich geschieht, wird durch neuere Beobachtungen von den oberitalienischen Seen, von Brixen und Bozen zur genüge bezeugt.

Fortpflanzung der Gewitter. Die von den Gewittern unzertrennlichen elektrischen Entladungen haben früher schon ihre Erörterung gefunden; nunmehr handelt es sich nur noch um die *Mechanik der Gewitterfortpflanzung.* Aus ihr haben verdiente Meteorologen der Neuzeit, *v. Bezold, C. Lang, Börnstein* u. a., besonders aber *Ciro Ferrari*, ein Lieblingsstudium gemacht, und es haben sich dabei gewisse der Erfahrung entnommene Lehrsätze ergeben, deren wichtigste wir hier anführen wollen:

I. *Vor dem Gewitter nehmen Luftdruck und relative Feuchtigkeit ab, um beim Beginne desselben zum Minimum zu werden; die Temperatur hingegen nimmt zu und ist am höchsten beim Ausbruche des Gewitters, um von diesem Zeitpunkte an rasch abzunehmen.*

II. *Eigentlicher Sitz des Gewitters ist gewöhnlich eine an der Vorderseite*[1] *einer Zyklone sich zeigende Ausbuchtung, in der sich ein Teilminimum, eine sekundäre Depression herausgebildet hat.*

III. *Im Anschlusse an das soeben Gesagte muss besonders lebhafte Besonnung, welche die Südseite eines Luftwirbels trifft, als die Ursache für die Entstehung einer solchen sekundären Zyklonalbewegung und damit des Gewitters selbst betrachtet werden, wie denn auch gegen Abend, beim Nachlassen der Insolation, die Gewitter zumeist ihre Stärke einbüssen.*

IV. *Eigentliche Wärmegewitter, deren Bereich ein räumlich beschränkter ist, und die keinen nachhaltigen Einfluss auf die Wetterlage ausüben, sind von den Wirbelgewittern zu sondern, deren Bewegung eine grössere Fläche Landes in Mitleidenschaft zieht*[2] *und an die Fortpflanzung der grossen Luftwirbel überhaupt gebunden ist.*

[1]) Die Bewegungsrichtung der Gewitter ist in Amerika wie Europa, übereinstimmend mit derjenigen der barometrischen Minima überhaupt, eine solche von West nach Ost; *Ostgewitter* treten vergleichsweise nur sehr selten auf.

[2]) Die Gewitter der Tropen, wie sie zumal während der Regenzeit in manchen Gegenden sich Tag für Tag ereignen, sind fast ausnahmslos Wärmegewitter; in je höheren Breiten ferner ein Gewitter beobachtet wird, um so deutlicher markiert es sich, insbesondere durch seine verheerenden Wirkungen

V. *Im anscheinenden Gegensatze zu Buys-Ballots Gesetze bewegt sich die Luft in der Richtung des Gradienten und senkrecht zu der durch die Homobronten charakterisierten Gewitterfront* [1].

VI. *Die Beobachtung lehrt, und die von Vettin und Börnstein ersonnenen Experimente bestätigen es, dass Gebirge eine Art anziehender Wirkung auf ein herankommendes Gewitter ausüben, während breitere Flüsse, über denen zur Sommerszeit sich eine absteigende Luftbewegung ausgebildet hat, einem Hindernisse des Fortschreitens gleich zu achten sind.*

XI. Klimatologie.

Definition des Klimas. Während wir mit dem Worte *Wetter* die Gesamtheit derjenigen atmosphärischen Vorgänge zu bezeichnen pflegen, welchen der Stempel des *Regellosen, Veränderlichen* aufgeprägt ist, verstehen wir, ohne uns über den eigentlichen Sinn des Wortes besondere Rechenschaft gegeben zu haben, unter *Klima* etwas Stabiles, bei dem soeben erwähnten Wechselspiele der Witterung *sich Gleichbleibendes.* Das Klima ist uns „der ruhende Pol in der Erscheinungen Flucht“. Die Etymologie des Namens Klima (von dem griechischen κλίνειν, sich neigen) rechtfertigt diesen Gebrauch bis zu einem gewissen Grade; durch dieselbe wird nämlich angedeutet, dass *die Neigung der Sonnenstrahlen gegen den Horizont eines Ortes* der massgebende Faktor für die Erwärmung dieses Ortes darstellt.

Da die Sonne hinlänglich weit von der Erde entfernt ist, um die sämtlichen von ersterer ausgehenden *Licht- und Wärmestrahlen* als ein *Parallelstrahlenbündel* betrachten zu lassen, so kann offen-

(zündende Blitze, Hagelschlag) als Wirbelgewitter. Zumal die *Wintergewitter* gehören in die letztere Kategorie.

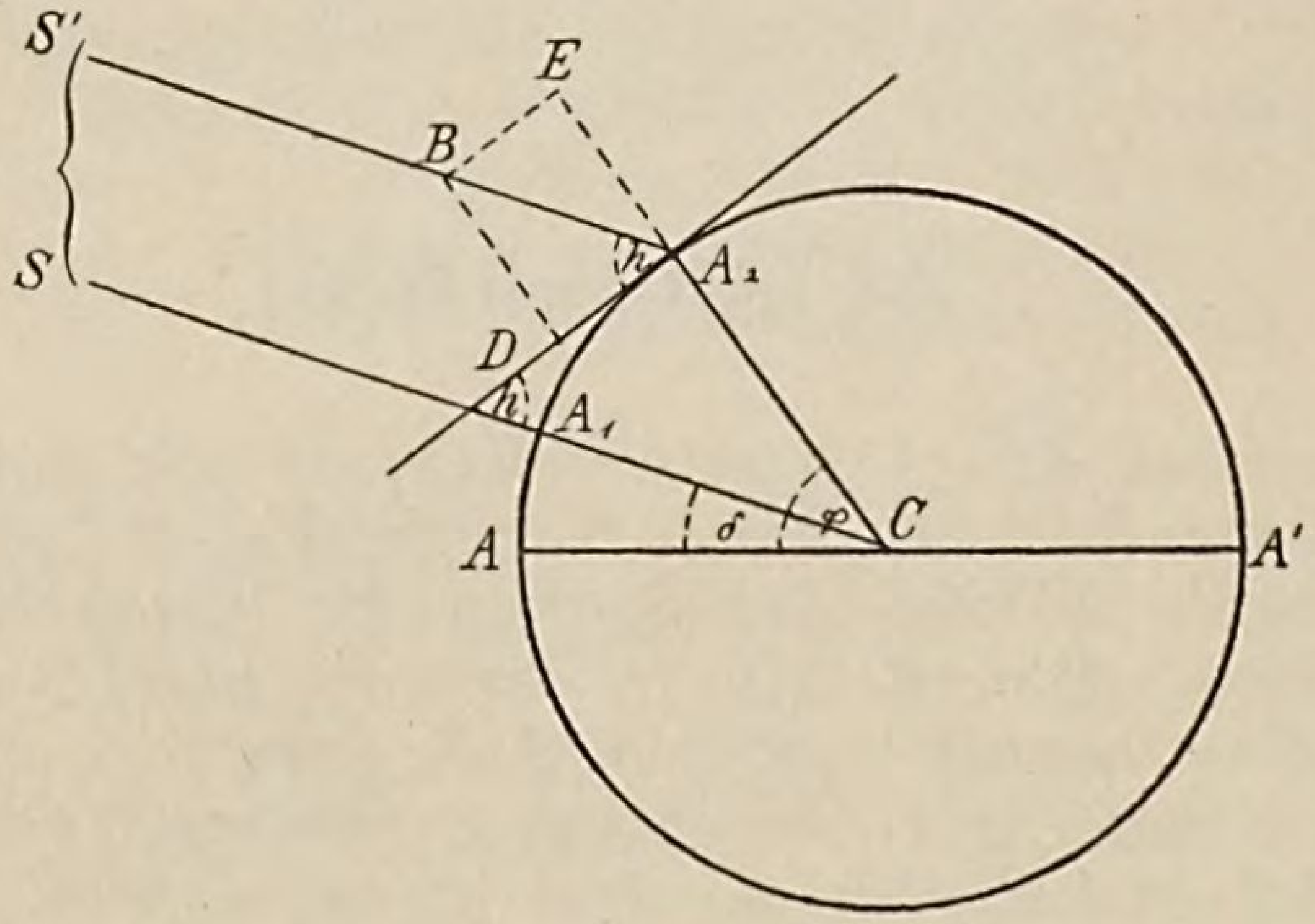
[1]) Man verfolgt das Fortschreiten der Gewitter, indem man auf grund eingegangener Korrespondenznachrichten je eine *Homobronte* (ὅμος, gleichzeitig; βροντή, der Donner) durch alle Orte legt, welche den ersten Donner zur nämlichen Zeit gehört haben. Wenn der Wind senkrecht zu diesen Homobronten weht, so lässt sich die scheinbare Anomalie in folgender Weise einfach auflösen. *Guldberg* und *Mohn* haben zur allgemeinen Darstellung der Luftströmungen überhaupt nachstehende Formel gegeben:

$$\alpha G \cos \psi = k v + a;$$

hier bedeutet α eine Konstante, G den Gradienten, k den Reibungskoëffizienten, ψ den Winkel zwischen dem Gradienten und der wahren Windrichtung, v die Geschwindigkeit und a die Beschleunigung des Luftstromes. Nun nehmen v und a, wenn das Gewitter sich vorbereitet, rasch zu, während um diese Zeit G nach *Lancaster* nur klein ist; damit also die Gleichung bestehen könne, muss $\cos \psi$ möglichst gross ($= 1$) und $\psi = 0^0$ sein. In der That ist konstatiert, dass nur für den Anfang jenes Zusammenfallen von Windbahn und Gradienten gilt, dass es in aller Strenge nur immer in nächster Nähe an der Gewitterfront zutrifft.

bar nur derjenige Erdort die Besonnung in ihrer vollen Kraft empfinden, für welchen die Sonne im Zenit steht, wie z. B. für A_1 (*Fig. 88*), denn die in A_1 an die Kugel gelegte Berührungs- oder Horizontalebene steht, wenn die Sonne in S sich befindet, auf der Verbindungslinie CS (C Erdmittelpunkt) in A_1 senkrecht. AA' ist der Aequator, und $\sphericalangle ACS$ die Deklination δ der Sonne. Wie gestaltet sich die Insolation nun aber für den Ort A_2, dem die durch $\sphericalangle ACA_2$ gekennzeichnete geographische Breite φ zukommt? Um

Fig. 88.



dies zu ermitteln, ziehen wir durch A_2 eine Parallele A_2S' zu A_1S und tragen auf dieser eine Strecke A_2B auf, welche zu der für A_1 bestehenden Bestrahlungsintensität proportional sein soll. Dann werde das Rechteck A_2DBE gezeichnet; nach statischen Gründen kommt senkrecht zum Horizonte von A_2 bloss die Komponente $BD = EA_2 = J'$ zur Geltung, während die in die Horizontalebene selbst fallende Komponente DA_2 keine Wirkung ausübt. Die Sonnenhöhe $h = \sphericalangle S'A_2D = 90^0 - \sphericalangle A_1CA_2$ ist somit $= 90^0 - (\varphi - \delta)$, und damit ist auch $J' = J \sin h = J \cos(\varphi - \delta)$. Im Worte übertragen, spricht sich diese Bezeichnung aus, wie folgt:

Die Bestrahlung eines Punktes der Erdoberfläche ist proportional dem Kosinus der Differenz zwischen Polhöhe und augenblicklicher äquatorialer Abweichung der Sonne.

Da *cos* $(\varphi - \delta)$ für $\varphi = \delta$ seinen grössten Wert 1 erhält, so ist damit auch (s. o.) gesagt, dass dem Zenitabstande der Sonne die intensivste Beleuchtung entspricht. Wenn die Sonne im Aequator steht, empfangen die Erdpole, da $\cos(90^0 - 0^0) = 0$ ist, überhaupt gar kein Licht und, der strengen Theorie nach, auch gar keine Wärme [1]).

[1]) Die von dem Eleaten *Parmenides* begründete und seitdem in alle Lehrbücher der Erdkunde übergegangene *Einteilung der Erdoberfläche in Zonen* stellt sich uns dar als ein einfacher Ausfluss aus den oben vorgetragenen geometrischen Lehren. Der Erdgürtel zwischen den beiden Parallelen von $\pm 23^1/_2{}^0$ ist die heisse oder, da je ein Wendekreis (κύκλος τροπικός) als Begrenzungslinie dient, die *tropische* Zone; für jeden Ort derselben steht im Laufe des Jahres

Jedenfalls ist erwiesen, dass die *Neigung der Sonnenstrahlen* in der That das erste und wichtigste klimatische Moment ist. Indess hat die neuere Wissenschaft, da sie sich nicht enge an die hier erwähnte rein geometrische Anschauung hält, die Aufgabe der Klimakunde oder *Klimatologie* doch bedeutend weiter gefasst. *Hann*, dem die systematische Begründung dieses Zweiges der atmosphärischen Physik in erster Linie mit zu verdanken ist, sagt hierüber[1]: „Die *Klimalehre* wird die Aufgabe haben, uns mit den *mittleren* Zuständen der Atmosphäre über den verschiedenen Teilen der Erdoberfläche bekannt zu machen, ohne darauf zu verzichten, uns auch die Abweichungen davon kennen zu lehren, welche innerhalb längerer Zeiträume an demselben Orte eintreten können.“ Im Sinne dieser erweiterten Erklärung haben wir zunächst die Frage aufzuwerfen, welches denn die einzelnen das Klima sozusagen als Resultante enthaltenden Komponenten sind.

Die klimatischen Faktoren. In Uebereinstimmung mit *Hann* sowie auch mit der engeren Auffassung der früheren Zeit stellen wir an die Spitze die *Temperatur*. Ein unter Beobachtung der als notwendig erkannten Vorsichtsmassregeln in der freien Luft aufgehängtes Luftthermometer[2]) gibt Aufschluss über die *Luftwärme*, und wenn man dasselbe entweder in regelmässigen Zeiträumen abliest oder aber das Thermometer durch einen *selbstregistrierenden Thermographen* ersetzt, kann man nach einleuchtendem statistischem Verfahren die *Tagesmittel, Monatsmittel* und endlich auch das *Jahresmittel* auffinden. Wichtig sind ferner die für die gleichen Intervalle festzustellenden *Schwankungen*, die man, indem man nach völligem Ablaufe der bestimmten Zeit das Instrument vergleicht[3]), direkt durch das *Maximum- und Minimumthermometer* erhält. Des ferneren gehört zu einer genauen Klima-Charakteristik auch die Kenntnis der Anzahl der *frostfreien Tage* eines jeden Jahres[4]). Auch die

die Sonne *zweimal*, für jeden Punkt eines Grenzparallels nur *einmal* im Scheitelpunkte. Die *gemässigten* Zonen liegen zwischen $\pm 23^1/_2{}^0$ und $\pm 66^1/_2$ Breite, und die beiden Kalotten um die Pole herum, für deren Gesamtbereich die Sonne eine zeitlang gar nicht unter- oder gar nicht aufgeht (*ewiger Tag, ewige Nacht*), sind die *kalten* oder *Polar-Zonen*. Die physikalische Geographie hält an dieser alten Einteilung fest, weil sie sehr bequeme Anhaltspunkte für das Studium der Wärmeverteilung über die Erde hin gewährt, obwohl jene nicht als ausreichend betrachtet werden kann, sondern, wie wir sehen werden, einiger Ergänzungen bedarf.

[1]) *Hann*, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 2.

[2]) Noch immer ist man nicht völlig einig, welches die beste Art der Unterbringung des Wärmemessers ist, allein den Untersuchungen von *W. Köppen* nach zu schliessen ist die Aufhängung in einem eigenen Häuschen, der man bisher die meisten Vorzüge zuschrieb, keineswegs die wirklich beste. Auch der Unterschied zwischen der Stadt und dem freien Lande, für welch letzteres die vielen diffusen Wärmereflexe in Wegfall kommen, darf nicht vernachlässigt werden.

[3]) Auf die aus zu früher Ablesung des *Rutherford*schen Thermographen entspringenden Fehler ist von *Leyst* aufmerksam gemacht worden.

[4]) Demnächst wird die Zurückführung dieses klimatischen Elementes auf graphische Darstellungen seine Erörterung finden.

strahlende Wärme gehört zu den der Beachtung würdigen klimatischen Faktoren, und man hat zuzusehen, ob die Rückstrahlung der Wärme durch benachbarte Wasserflächen oder Abhänge aus Felsgestein begünstigt wird. Neuerdings haben verschiedene Forscher, *Jordan*, *Maurer* u. a., auch *Sonnenschein-Automaten* angegeben, welche erkennen lassen, einen wie grossen Teil des Tages hindurch im Mittel auf freie, von Wolken unbehinderte *Insolation* zu rechnen ist.

Nächst der Temperatur will besonders die *atmosphärische Feuchtigkeit* als klimatischer Faktor berücksichtigt sein, weniger die absolute als vielmehr die relative, von welcher ja direkt die *Evaporationskraft* wasserhaltiger Objekte bedingt wird, und von welcher indirekt somit auch das *Wasserbedürfnis der Organismen* abhängt. Leider ist es noch nicht möglich gewesen, das für die Klimatologie wertvolle Instrument zur Messung des Verdunstungsbetrages, das *Atmometer* oder *Evaporimeter*, in völlig befriedigender Form herzustellen; teilweise wird die Schwierigkeit dadurch erhöht, dass nicht alle Teile einer mit der Atmosphäre frei kommunizierenden Flüssigkeitsfläche gleichviel Wasser an die Luft abgeben, *dass also die Verdunstungsgrösse nicht einfach dem Flächeninhalt* — eher dem Umfange nach *Stefan* — *proportional ist.* Hygieinischerseits wird auch die jeweilige Ermittlung derjenigen Menge von Wasserdampf empfohlen, welche die Luft unter den obwaltenden Umständen gerade noch in sich aufzunehmen vermöchte; dies ist das sogenannte *Sättigungsdefizit.* Mit der Feuchtigkeit ändern sich auch *Bewölkung* [1]) und *Regenwahrscheinlichkeit*, und an diesen beiden Elementen nimmt der Klimatologe begreiflicherweise das lebhafteste Interesse. Auch die durchschnittlich auf einen Ort im Jahre sowie im Verlaufe der einzelnen Monate und Tage entfallenden *Regenmengen* muss er kennen, und selbst eine mehr oder weniger ergiebige Thauproduktion und die Dicke und Dauer der winterlichen Schneedecke sind ihm keine gleichgiltigen Dinge. Da endlich die Wechselbeziehungen zwischen Klima und menschlicher Gesundheit sich ganz von selbst — man denke nur an die *klimatischen Kurorte* — in den Vordergrund drängen, da ferner der Stand des Grundwassers, wie sich später in Abschnitt XIV des näheren zeigen wird, die Gesundheitsverhältnisse einer Gegend ganz entschieden beeinflusst, so ist auch die wechselnde *Höhe des Grundwassers* zu notieren.

Weit weniger — und darin ist ein fundamentaler Gegensatz zwischen Meteorologie im engeren Sinne und Klimatologie ausgesprochen — Gewicht besitzt für die Bestimmung des Klimas der *Luftdruck*, schon deshalb, weil Schwankungen des Barometerstandes auf das subjektive Befinden des Menschen so gut wie gar keine Einwirkung äussern. Die gewaltigen Luftdruckdifferenzen, welche

[1]) Die Grösse der Bewölkung misst man, indem man nach dem Augenmasse angibt, ein wie grosser Teil des Firmamentes durch Bewölkung in anspruch genommen ist. Wenn es mehrere vereinzelte Wolkengruppen sind, so werden dieselben zu einem Ganzen zusammengerechnet. Die Bewölkungsgrösse 0 signalisiert somit einen wolkenlosen Himmel, während bei der Zahl 1 auch nicht das kleinste Stückchen blauer Himmel sichtbar ist.

Kranke in der bekannten *pneumatischen Kammer* deshalb durchmachen müssen, damit das geschwächte Atmungsorgan zu erneuter, energischerer Thätigkeit gezwungen werde, werden durchweg ohne Ungemach ertragen, und ein gleiches gilt um so eher bezüglich der weit geringeren Ab- und Zunahmen des Druckes in der freien Atmosphäre. Immerhin wollen dieselben auch beachtet sein, denn mit ihnen variiert auch die *Verdunstungsfähigkeit* des Wassers, und nach ihnen richtet sich die Stärke des Windes. Man muss, wenn man eine klimatische Charakteristik für eine gegebene Oertlichkeit liefern will, die gewöhnlichen Windrichtungen für die einzelnen Tages- und Jahreszeiten, wie auch nicht minder, soweit möglich, die mittlere Windstärke ermittelt haben.

Von geringem Belange für die Klimatologie sind die verschiedenartige Zusammensetzung der Luft und die Spannungsverhältnisse der Luftelektrizität. Wir wissen ja, dass, bei annähernder Konstanz der Kohlensäure, der Gehalt an Sauerstoff nicht überall ganz der gleiche ist, doch sind die Abweichungen vom Normalmittel viel zu geringfügig, um sich irgendwie bemerkbar zu machen.

Klimatologische Kurven. Seit *A. v. Humboldt* wendet man das graphische Hilfsmittel, das uns oben, in Abschnitt IX, bei der Lehre vom Erdmagnetismus so gute Dienste geleistet hat, auch auf die Klimakunde an: *man verbindet alle diejenigen Orte durch einen Kurvenzug, für welche gewisse klimatologische Elemente durch den gleichen Zahlenwert ausgedrückt werden.* In erster Linie stehen hier die *Isothermen*, die Ortskurven gleicher mittlerer Temperatur. Man kann ebensowohl *Jahres-* als auch *Monatsisothermen* verzeichnen; ja es stünde an sich nichts im Wege, für jeden einzelnen Tag im Jahre die Punkte von gleicher Mitteltemperatur aufzusuchen und in bekannter Weise unter einander zu verbinden. In *Taf. III* sind die Isothermen des Januar und Juli nach *Hann*, resp. nach *van Bebber* abgebildet [1]); durch diese Kurven wird am besten der Wechsel in der Erwärmung gekennzeichnet, der von dem selbst wechselnden Sonnenstande bedingt ist. Man bemerkt aber, dass zumal die Isothermen des tiefen Winters im Inneren der Kontinente ein ganz anderes Verhalten bethätigen, als an den Küsten; wenn sich diese Linien, über ein Weltmeer weggehend, dem westlichen Ufer sowohl der Neuen als auch der Alten Welt nähern, so steigen sie rasch an und senken sich dann im Inneren des betreffenden Kontinentalkomplexes noch viel rascher, so dass stellenweise eine Isotherme nicht mit einem Parallelkreise, wie man doch erwarten sollte, sondern mit einem Meridiane übereinstimmt. Dieses anscheinend so auffällige Verhalten gibt uns bald den Anlass zu einer sehr bedeutsamen Trennung verschiedener Klimatypen.

Ebenso wie die Isothermen kann man natürlich auch die *Iso-*

[1]) Die gestrichelten Kurven beziehen sich auf wenig erforschte Erdräume, für welche die Konstruktion somit nicht auf wirkliche Beobachtungen, sondern nur auf Induktion hin erfolgen konnte.

baren oder Kurven gleicher Luftschwere im grossen verzeichnen. Dieselben bekunden in ihrem Gange, wie *Wild* gefunden hat, eine überraschende Aehnlichkeit mit den *Isanomalen*, deren Wesen folgendes ist: *alle Punkte, deren Temperatur in einem gegebenen Zeitpunkte von der Mitteltemperatur, die eigentlich dortselbst herrschen sollte, um p^0 abweicht, liegen auf der Isanomale von p^0.* Nur eine geringe Verschiebung ist nötig, um das System der Isanomalen in dasjenige der Isobaren überzuführen.

Um die Verschiedenheit der Bewölkungsverhältnisse bequem zu übersehen, werden die *Isonephen* konstruiert; sie gehen durch sämtliche Orte hindurch, an denen resp. die gleiche mittlere Bewölkungsgrösse ermittelt worden ist. Auf einer Isonephenkarte von Europa sieht man die Isonephen in angenähert parallelen Zügen sich von Südost gegen Nordwest hindurchwinden; abgesehen von gewissen durch beständige Heiterkeit ausgezeichneten Bezirken in Südeuropa — vorab in der spanischen Provinz Murcia — ist somit die Bewölkung in den dem Ozeane benachbarten Ländern im allgemeineren eine stärkere, als im Inneren des Kontinentes, was auch leicht begreiflich erscheint.

Auch die vorstehend für einen beachtenswerten klimatischen Faktor erklärten Veränderungen in den Eisverhältnissen kann man im Sinne von *Hult, Hildebrandsson* und *Rykatschew* durch Zeichnung veranschaulichen. Dies führt zu den sogenannten *Aequiglazialen*, mit welchem Namen man drei Unterarten von Kurven zusammenfasst. Man kann diejenigen Orte verbinden, für welche die Uebereisung gleichzeitig stattgefunden hat, diejenigen, welche das Freiwerden der Flüsse, Bäche und Seen im nämlichen Zeitpunkte konstatieren konnten, und schliesslich diejenigen, in deren Umgebung die Gewässer gleichlang ihre Eisdecke getragen haben. Welches auch die Aequiglazialen für die skandinavische Halbinsel sein mögen, stets entnimmt man dem Diagramme derselben die konstante Thatsache, dass dieselben an den Küsten in ziemlich hohe Breiten hinaufreichen und längs des Gebirgsrückgrates der Halbinsel tief herabsteigen. Dies gewährt gleichfalls einen später zu verwertenden Fingerzeig.

Bisher handelte es sich bei unseren graphischen Darstellungen immer nur um die Abhängigkeit zwischen zwei Grössen; es können jedoch in manchen Fällen auch drei sich gegenseitig bedingende Grössen ins Spiel kommen, und dann reicht eigentlich die Ebene nicht mehr zur Versinnlichung aus, sondern es müsste, strenge genommen, eine gekrümmte Fläche als Operationsfeld verwendet werden. Dies würde z. B. schon bei folgender Fragestellung der Fall sein: Welches war die Temperatur nachmittags zu einer gewissen Stunde an einem bestimmten Tage desjenigen Jahres, dessen Temperaturgang thermographisch aufgezeichnet ist? Setzen wir die Anzahl der seit dem Anfange des Jahres verflossenen Tage $= x$, der seit 12^h nachts am fraglichen Tage verstrichenen Stunden $= y$ und die dem erwähnten Momente entsprechende Temperatur $= z$, so ist jedenfalls z von x und y gleichmässig abhängig; es ist, mathematisch

gesprochen, $z = f(x, y)$. Um nun trotzdem die Ebene nicht verlassen zu müssen, hält man sich an die *Isoplethen* (πλῆθος, die Breite), aus denen *Erk* ein sehr nutzbares Werkzeug für klimatologische Untersuchungen zu machen verstanden hat. Man denkt sich nämlich die durch die Gleichung $z = f(x, y)$ oder $F(x, y, z) = o$ charakterisierte Fläche wirklich ausgeführt und durch sie alle diejenigen zur XY- oder Zeichnungsebene parallelen Schnitte gelegt, welche den in arithmetischer Progression von Null an steigenden Werten von z entsprechen; diese Schnitte werden orthogonal auf die Papierebene projiziert, auf welcher sich dann also ein System zusammengehöriger Kurven — den Niveaukurven der topographischen Karten vergleichbar — bildet. Nunmehr lässt sich unsere obige Frage leicht beantworten. Man trägt auf der X-Achse den Tag, auf der Y-Achse die Stunde ab und vollendet das solchergestalt angedeutete Rechteck; alsdann sieht man zu, auf welche Isoplethe der vierte Eckpunkt fällt, und dieser Kurve ist der zugehörige Temperaturwert unmittelbar beigeschrieben oder doch sofort durch Interpolation zu erhalten. Und ähnlich in anderen Fällen.

Phänologie. Schon die Alten pflegten mit grosser Aufmerksamkeit auf gewisse periodisch wiederkehrende Ereignisse im Tier- und Pflanzenleben zu achten und dieselben mit den Witterungserscheinungen in Verbindung zu bringen; von *Hesiod* an bis *Columella* und den byzantinischen Geoponikern finden sich zumal in den landwirtschaftlichen Schriften Andeutungen zu dem, was die neuere Wissenschaft als *Phänologie* in ein System zu bringen versucht hat. Bereits *Linné* hat auf diesem Grenzgebiete der Botanik und Klimakunde mit Erfolg gearbeitet [1]; er verlangte, dass man vergleichende Beobachtungen anstelle, wie sich unter verschiedenen klimatischen Bedingungen diejenigen fünf grundlegenden *Phasen des Pflanzenlebens* der Zeit nach unterschieden, welche er mit den Worten *„germinatio“*, *„frondescentia“*, *„efflorescentia“*, *„fructescentia“*, *„defoliatio“* kennzeichnete. *Quetelet* wandte in der Folge auf die Phänologie das oben erläuterte graphische Prinzip an und verband sämtliche Orte, an denen für die nämliche Pflanze einunddieselbe Phase ganz zu gleicher Zeit eintrat, durch Kurven, welche er *Isantheren* (ἀνθηρός, blühend) nannte. Später stellte *Linsser* die seinen Namen tragende Regel auf, welche wir in der ihr von *Drude* gegebenen Fassung mitteilen wollen:

Die an zwei verschiedenen Orten den gleichen Vegetationsphasen entsprechenden Temperaturen über Null sind den Summen aller positiven Temperaturen beider Orte proportional.

Wenn man also diejenigen Temperaturen als für den Lebensprozess eines Gewächses nicht in betracht kommend ausser acht lässt, welche unter den Nullpunkt fallen, so ergibt sich aus obiger

[1]) *Linné, Philosophia botanica, in qua explicantur fundamenta botanica*, Stockholm 1751; 4. Auflage von *Sprengel*, Halle 1809.

Regel, dass Pflanzenindividuen von gleicher Art zu gleichen Stadien ihrer Entwicklung bezüglich gleiche Quantitäten Wärme benötigen. Für die Anemone z. B. hat sich in Brüssel, wenn man vom letzten Frosttage an die höchsten Tagestemperaturen bis zu jenem Tage summiert, an welchem die Blüte eintrat, ein Betrag von 184 ^{0} ergeben, und in St. Petersburg war dieser Betrag gleich 93 ^{0}. Nimmt man dann fünf andere Pflanzenarten, von denen jede folgende immer etwas später zum Blühen gelangt, bildet für jede derselben in den genannten beiden Städten die Temperatursummen und addiert die beiden Paare von je sechs Posten (die Anemone mit eingeschlossen), so findet man in Brüssel 3687 ^{0} und in der russischen Hauptstadt 2253 ^{0}. Dem *Linsser*schen Satze zufolge soll dann nachstehende Proportion gelten:

$$184 : 3687 = 93 : 2253.$$

In der That ist der linksstehende Bruch gleich 0,049 und der rechtsstehende gleich 0,042. *F. Hoffmann* hat in einem langen arbeitsamen Leben die Ideen, welche dem Satze von der Konstanz der Wärmesummen zur Grundlage dienen, weiter ausgeführt und dargethan, dass in der That gewisse vom Klima abhängige *Vegetationskonstanten* existieren; auch hielt er daran fest, dass der Nullpunkt jene Grenze sei, von welcher die Summierung zu beginnen habe. Dem ist mehrseitig widersprochen worden, und insbesondere hat *v. Oettingen* behauptet, dass es für jede Art einen besonderen Anfangspunkt, eine *Schwelle*, gäbe, welche erst durch besondere Versuche auszumitteln sei. Es ist jedoch einleuchtend, dass mit der Annahme eines solchen Schwellenwertes der das Pflanzenleben aus seinem Schlafe weckenden Wärme auf jede Vergleichbarkeit der Einzelergebnisse und damit eigentlich auch auf die wissenschaftliche Ausgestaltung der Phänologie Verzicht geleistet wird.

Die letztere steht, wie man sieht, vorläufig zur Klimatologie mehr in dem Verhältnisse, dass sie von dieser empfängt, nicht aber ihr gibt. Es ist jedoch keineswegs ausgeschlossen, dass mit der Zeit dieses Verhalten sich umkehren könne, und es liegen auch, dank der Rührigkeit der *Hoffmann*schen Schule, Anzeichen dafür vor, dass aus phänologischen Studien für die Lehre vom Klima Vorteile entfliessen können. So hat *Ihne* für Finnland, welches von *Moberg* in phänologischer Hinsicht gründlich durchforscht worden ist, Isantheren konstruiert, deren Betrachtung deutlich zeigt, dass in jenem Lande die Abnahme der Wärme mit der geographischen Breite sich im allgemeinen ganz regelmässig vollzieht, dass sich aber die Nähe der grossen russischen Binnenseen klimatisch durch eine Ablenkung der ihnen zunächst gelegenen Kurven von ihrem regelmässigen Verlaufe geltend macht, zumal wenn es sich um solche Phasen handelt, welche der Zeit nach ungefähr mit dem Termine der Enteisung und der an diese sich knüpfenden Bindung namhafter Wärmemengen übereinstimmt.

Solares und physisches Klima. Wäre unsere Erde ein äusserlich homogener Körper, umgeben von einer nach einem be-

stimmten geometrischen Gesetze gebildeten Oberfläche, so würde die Bestrahlung für einen gegebenen Punkt dieser Fläche sich a priori bestimmen lassen. Thut man dies, so ermittelt man auf mathematischem Wege das *solare Klima* eines Ortes; allein die unseren Planeten umhüllende Atmosphäre, sowie die vielfachen Unterschiede in der Oberflächengestalt — Wasser und Festland, Berg und Thal, Pflanzendecke und Felsgestein — modifizieren dieses theoretische Klima in der Wirklichkeit oft so bedeutend, dass das *physische Klima* von ersterem sehr weit abweicht. Immerhin ist es von Wert, die Sachlage, wie sie sich unter der Voraussetzung alleinigen Einflusses der Sonnenbestrahlung herausbilden würde, zum Ausgangspunkte der Untersuchung zu wählen.

Die Erörterung der Frage führt auf erhebliche analytische Schwierigkeiten, mit deren Ueberwindung sich *Lambert*, *Meech*, *Atkinson* u. a., vorab aber *Wiener*, beschäftigt haben. Durchweg jedoch wurde von dem Absorptionsverluste abgesehen, welchen die Wärmestrahlen beim Durchwandern unserer Atmosphäre erleiden, und welche verschieden gross ausfallen, je nachdem der Inzidenzwinkel an der Aussenseite jener und damit die Länge des in der Luft zurückgelegten Weges verschieden ausfällt. *Angot* hat auch dieser Thatsache Rechnung getragen und die Wärmemenge, welche ein gegebenes Flächenstück bei bestimmtem Sonnenstande zugesandt erhält, durch eine Formel ausgedrückt, deren Auswertung im Einzelfalle allerdings nur durch Näherungsrechnungen erfolgen kann. Die Sonne, deren kalorische Konstante [1]) C sein soll, habe die Höhe h über dem Horizonte und den (linearen) Abstand R von der Erde [2]);

[1]) Als *Sonnenkonstante* bezeichnet man jene Anzahl von Wärmeeinheiten oder *Kalorien*, welche ein Quadratcentimeter im Aequator der äusseren Grenzfläche der Atmosphäre im Verlaufe eines Aequinoktialtages empfängt. *Pouillet*, *Violle*, *Crova*, *Frölich*, *Langley* haben in verschiedener Weise diese wichtige Zahl zu ermitteln gesucht. Dieselbe ist ungefähr drei Kalorien gleich, eher grösser, denn kleiner, auch schwankt sie, wie die von *Crova* in Montpellier gezeichneten Kurven darthun, zwischen nicht allzu engen Grenzen, was vielleicht von der wechselnden Fleckenbedeckung der Sonnenoberfläche herrührt. Beim Durchgange der Sonnenstrahlen durch die Luft findet übrigens nicht eine für sämtliche Wellenlängen gleiche, sondern, wie man sich ausdrückt, eine *selektive* Absorption statt; die langwelligen Strahlen durchdringen das Medium mit geringeren Verlusten, als die kurzwelligen. Ein eigens zu diesem Zwecke konstruiertes Instrument, das *Bolometer*, ermöglicht die Messung des Grades der Selektion; man bringt einen dünnen Metalldraht in die Richtung des einer bestimmten Stelle des Sonnenspektrums zugehörigen Strahles und misst die Erwärmung vermittelst der von ihr bewirkten Aenderung des elektrischen Widerstandes. Das von *Angot* verwendete Gesetz der Intensitätsabnahme wäre demzufolge durch ein anderes zu ersetzen, und zwar soll nach *Abney*, wenn z, J und J_z ihre obige Bedeutung behalten, wenn k eine Konstante und λ die Wellenlänge für den einzelnen Strahl bedeutet, folgende Relation bestehen:

$$J_z = J e^{-\frac{kz}{\lambda^4}}.$$

[2]) Bei der grossen mittleren Entfernung von Sonne und Erde (über 20 Millionen Meilen) ist es gleichgiltig, ob wir R auf den Mittelpunkt oder irgend einen Punkt der Oberfläche der Erde beziehen.

p sei der Durchlässigkeitskoëffizient der Atmosphäre, d. h. wenn J die Intensität der noch ungeschwächten und J_1 die Intensität der durch eine atmosphärische Schicht von der Dicke 1 hindurchgegangenen Sonnenstrahlen ist, so wird nach deren Durchgang durch eine Schicht von der Mächtigkeit z jene Wärmekraft noch gleich $J_z = Jp^z$ sein. Da J offenbar $= C : R^2$ ist, so kann die in der Zeit dt auf die Flächeneinheit von 1 qcm entfallende Wärmemenge dq nach den im Eingange dieses Abschnittes gegebenen Darlegungen gleich $\frac{C}{R^2} p^z dt \sin h$ gesetzt werden. Die Deklination der Sonne ist für einen bestimmten Tag, innerhalb dessen sie sich nur unmerklich ändert, bekannt, und aus der Deklination δ und der Polhöhe φ des in betracht gezogenen Erdortes kann man die der Zeit t entsprechende Sonnenhöhe berechnen. Versteht man sodann unter $\pm t_0$ die Auf- und Untergangszeiten des Tagesgestirnes, so wird ersichtlich, da h eine Funktion von δ, φ und t ist,

$$q = \frac{C}{R^2} \int_{-t_0}^{t_0} p^z \sin [F(\delta, \varphi, t)] \, dt.$$

Indem *Angot* für p folgeweise die Zahlen 1, 0,9 . . . 0,6 einsetzte, konnte er mit ziemlich grosser Genauigkeit die Wärmemengen bestimmen, welche auf einen Ort von gegebener Breite im Laufe eines Tages und damit auch im Laufe eines Jahres entfallen. Seine für gewisse ausgezeichnete Werte von φ berechnete Tabelle sei hier wiedergegeben:

Geogr. Breite	Koëffizient:	1	0,9	0,8	0,7	0,6
0°	Wärme-mengen	350,3	298,4	251,9	209,2	170,2
30		307,9	256,8	212,3	172,9	137,6
60		199,2	152,9	118,2	90,2	67,4
90		145,4	100,1	68,2	45,0	28,4

Da der Absorptionskoëffizient wahrscheinlich $\leqq 0,8$ ist, so geht aus obiger Zusammenstellung jedenfalls soviel hervor, *dass im solaren Klima die Wärme vom Aequator gegen die Pole hin sehr rasch abnimmt.*

Nicht gleich rasch und gleich gesetzmässig ist diese Abnahme in Wahrheit. Das physische Klima macht es unmöglich, theoretisch die Wärmeverhältnisse für einen gewissen Ort vorauszubestimmen, vielmehr muss stets auf die Besonderheiten der Oertlichkeit Rücksicht genommen werden. Besonders mächtig entfaltet sich der Gegensatz zwischen zwei auf einunddemselben Parallel gelegene, also der gleichen Insolation teilhaftige Orte dann, wenn der eine einer grossen Wasserfläche benachbart, der andere aber tief im Binnenlande gelegen oder wenn der eine wenig, der andere dagegen

weit vom Meeresspiegel entfernt ist. Da ferner das Vorhandensein von Wald ebenso wie dasjenige einer ausgedehnten Schneedecke besondere Klimatypen schafft, so haben wir im folgenden das Wesen des physischen Klimas *unter vier selbständigen Gesichtspunkten* zu betrachten.

See- und Landklima. Schon bei *Hippokrates* und, viel klarer, bei dem dem zweiten nachchristlichen Jahrhundert angehörigen Römer *Minucius Felix* begegnen wir einem gewissen Verständnis des ersten der erwähnten Gegensätze, doch schuf erst *Humboldt* mit den bezeichnenden Namen die wissenschaftliche Theorie, deren Wesen sich in dem folgenden Satze ausspricht:

Das See-, Insel- oder Küstenklima ist durch eine angenähert gleichmässige Verteilung der Temperatur über das ganze Jahr hin, das Land-, Binnen- oder Kontinentalklima ist durch heisse Sommer einerseits, durch kalte Winter andererseits charakterisiert.

Ihre einfache Erklärung findet diese Verschiedenheit in der schon oben (S. 235), anlässlich der Lehre von den Land- und Seewinden, besprochenen *grösseren Wärmekapazität des Wassers.* Diese wirkt mildernd, ausgleichend ein und bewirkt im Winter eine Abstumpfung der Kälteextreme, während im Sommer das Wasser kälter als der Erdboden ist und somit abkühlend auf die durch die Ausstrahlung des letzteren erhitzte Luft wirkt. Auf isolierten ozeanischen Eilanden hat man die beste Gelegenheit, das Seeklima in seiner Reinheit zu studieren, wie denn z. B. auf den vom südlichen Polarkreise nicht allzu weit entfernten Kerguelen-Inseln die mittlere jährliche Temperaturschwankung nur mehr 5° beträgt. Der moderierende Faktor braucht gerade kein Weltmeer zu sein, denn schon grössere Inlandseen, wie z. B. der Ladoga-See und die fünf kanadischen Seen wirken auf das Klima insoweit ein, dass die Isothermen des Januar und Juli (*Taf. III*) in der Nachbarschaft der ersteren weniger weit aus einander gehen, als sie dies beim Nichtvorhandensein der grossen Wasserbecken thun würden. Umgekehrt ist das asiatische Russland das klassische Land des Binnenklimas, dessen Charakter hier noch durch den Umstand verstärkt wird, dass über Ostsibirien einen grossen Teil des Jahres hindurch eine mächtige Antizyklone (S. 239) lagert, welche heiteres, klares Wetter bedingt. Hier, nahe bei dem etwas nördlich vom arktischen Polarkreise befindlichen Städtchen *Werchojansk*, hat man den *Kältepol der nördlichen Halbkugel* [1]) zu suchen; hier wurde einmal eine Temperatur von — 63° gemessen [2]). Die Wintertemperatur in Sibirien ist, ebenso

[1]) Früher nahm man zwei Kältepole, einen östlichen und einen westlichen an. Diesen letzteren meint denn auch wirklich *Nansen* bei seiner Durchquerung Grönlands angetroffen zu haben, doch waren ihm leider genaue Temperaturbestimmungen versagt, weil die Expedition nur Quecksilberthermometer mitgenommen hatte. Diese aber versagen den Dienst, wenn der Gefrierpunkt des Quecksilbers überschritten ist, und deshalb sind bei Reisen unter hohen Breiten Weingeistthermometer entschieden vorzuziehen.

[2]) Die sonst aufgezeichneten niedrigsten Temperaturen sind diejenigen, welche *Hayes* beim Uebersetzen über den gefrorenen Smith-Sund, und welche

wie in ganz Hochasien und im nördlichen China, eine überaus niedrige, aber auch im anderen Punkte behauptet das extreme Inlandklima sein Recht, und der kurze, an der oberen Lena und Kolyma kaum zwei Monate dauernde Sommer ist intensiv genug, um aus dem gefrorenen und nur ganz oberflächlich auftauenden Boden eine ziemlich arten- und individuenreiche Flora hervorzulocken.

Natürlich erstreckt sich der Einfluss der geographischen Lage eines Ortes nicht nur auf dessen Mitteltemperaturen und allfallsige Temperaturextreme, sondern auch auf eine Anzahl anderer klimatischer Faktoren. Die *Tagesschwankung der Wärme* wird unter sonst gleichen Umständen in dem Masse grösser, in welchem man von der Küste gegen das Innere eines Landes fortschreitet; in Lissabon z. B. erreicht die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur eines Tages im Maximum 6,6° und in Madrid bereits 14,5°. Dass die Feuchtigkeit und die Regenhäufigkeit in der Nähe des Meeres verhältnismässig gross sind, versteht sich ganz von selbst; auch in dem, was vorhin über die Isonephen und Aequiglazialen gesagt wurde, spricht sich der Gegensatz der beiden Klimaformen deutlich genug aus. Recht belehrend sind ferner *H. Fischers* für die *Aequatorialgrenze des Schneefalles* gezeichnete Karten. Persien ist z. B. gewiss ein sehr warmes Land, und doch kommt es im Winter auf den kontinentalen Hochflächen des Inneren zu ergiebiger Schneebildung. Am meisten aber fällt die pyrenäische Halbinsel auf, weil sie wirklich einen Kontinent im kleinen repräsentiert. Der Küstenrand ist zwar teilweise sehr feucht, aber Schnee fällt doch nicht, weil das maritime Klima kein Sinken der Temperatur bis zum Gefrierpunkte duldet; auf dem kastilischen Plateau schneit es dagegen im Winter sehr stark, wie denn auch in Mittelitalien und Böotien der Schnee nicht selten wochenlang liegen bleibt.

Nachdem man den limitierenden Wirkungen des Wassers Beachtung zu schenken gelernt hatte, glaubte man sich zu dem Schlusse berechtigt, dass die südliche Erdhemisphäre, weil ungleich weniger Festland als die nördliche enthaltend, kühler als letztere sein müsse. Nach *Forbes* und *Hann* ist diese Kältepräponderanz jedoch nur auf eine allerdings ziemlich breite äquatoriale Zone der genannten Halbkugel einzuschränken, und aus *Spitalers* Rechnungen folgt im Gegenteile, dass die Mitteltemperaturen für beide Erdhälften annähernd gleich, nämlich ungefähr gleich 15°, seien.

Das Verhalten der Isothermen in *Taf. III* charakterisiert auch seinerseits augenfällig die klimatische Bedeutung der Festlandkomplexe. Besonders da, wo diese Linien in das Innere Nordamerikas von Westen her eintreten, zeigt sich auf den ersten Blick, dass im Winter das Land kälter, im Sommer aber wärmer als das Meer ist. Die kontinentale Lage Kroatiens und Ungarns hat ferner zur

Niverow in Jakutsk (etwa fünf Breitengrade südlich von Werchojansk) gemessen haben. Im ersten Falle stand das Thermometer auf —55,9° und im anderen auf —57,8°.

Folge, dass dort im Januar ungefähr dieselbe Temperatur herrscht, wie in der norwegischen Seestadt Trondhiem. Endlich fällt auch das geschlossene Ovalensystem um das asiatische Kältezentrum herum ins Auge.

Tiefen- und Höhenklima. Da die Luft den solaren Wärmestrahlen gegenüber fast ganz *diatherman* ist, oder da sie, mit anderen Worten, von diesen Strahlen durchzogen wird, ohne sich selbst namhaft dabei zu erwärmen, so bleibt die Erdoberfläche die oberste Quelle für die Luftwärme; die Luftschichten erhalten von der erwärmten Erde die Wärme durch Leitung übermittelt, und diese Zuführung wird, wenn nicht besondere Gründe obwalten, sich immer schwächer bethätigen, je weiter die betreffende Schicht von dem Erdboden entfernt ist. Man kann deshalb schon vonvornherein die von der Erfahrung allerdings ausgiebigst bestätigte Behauptung aufstellen [1]): *Unter gewöhnlichen Verhältnissen nimmt die Temperatur mit der Höhe ab.* Zahlreiche Beobachtungen bei Luftfahrten haben die Möglichkeit gewährt, sich ein Bild von dem Grade dieser Abnahme zu machen; man hat bemerkt, dass der *thermometrische Vertikalgradient* (S. 242) in den verschiedenen Jahreszeiten selbst sehr verschieden ist, und dass die Vergrösserung desselben in bedeutenderen Höhen sich schneller vollzieht, als in geringeren.

Die beim Ansteigen in freier Luft gewonnenen Erfahrungen dürfen vom physikalischen Standpunkte aus einen höheren Wert für sich in anspruch nehmen, als die bei Bergbesteigungen gesammelten, weil bei ersteren alle die störenden Einflüsse der Rückstrahlung u. s. w. ausgeschlossen sind. Der Geograph allerdings muss wesentlich mit diesen rechnen, weil durch sie das thatsächliche physische Klima bestimmt wird. Die sekundären Wärmequellen verschulden es jedenfalls, dass — den theoretischen Erwägungen und den Messungen der Luftschiffer zuwiderlaufend — im Gebirgslande die Verminderung mit der Höhe ziemlich gleichmässig, in arithmetischer Progression, erfolgt. Man darf, lokale Ausnahmen abgerechnet, aus dem vorhandenen Zahlenmateriale also folgendes schliessen:

Die Verminderung der mittleren Jahrestemperatur beträgt auf der ganzen Erde im Mittel 0,50° bis 0,60° bei einer Zunahme der Meereshöhe um 100 m.

Anschliessend teilen wir, nach *Supan*, die Beobachtungsdaten mit, denen diese empirische Wahrheit entnommen werden kann:

[1]) Allerdings bezieht sich dies zunächst nur auf eine *trockene* Atmosphäre, während für *wasserdampfhaltige* Luft die Dinge etwas anders gelagert sind. Wenn dieselbe nämlich noch nicht gesättigt ist, so verhält sie sich bis zu dem Zeitpunkte der Kondensation ähnlich wie trockene Luft; dann aber, wenn ein Teil des Wasserdampfes in wirkliches Wasser überzugehen anfängt, wird auch ein Quantum bisher gebundener oder latent gewesener Wärme frei, und diese wirkt der aus der aufsteigenden Bewegung entspringenden Abkühlung entgegen. Dabei war freilich vorausgesetzt, dass eine Luftmasse selbst sich in der Bewegung von unten nach oben befinde.

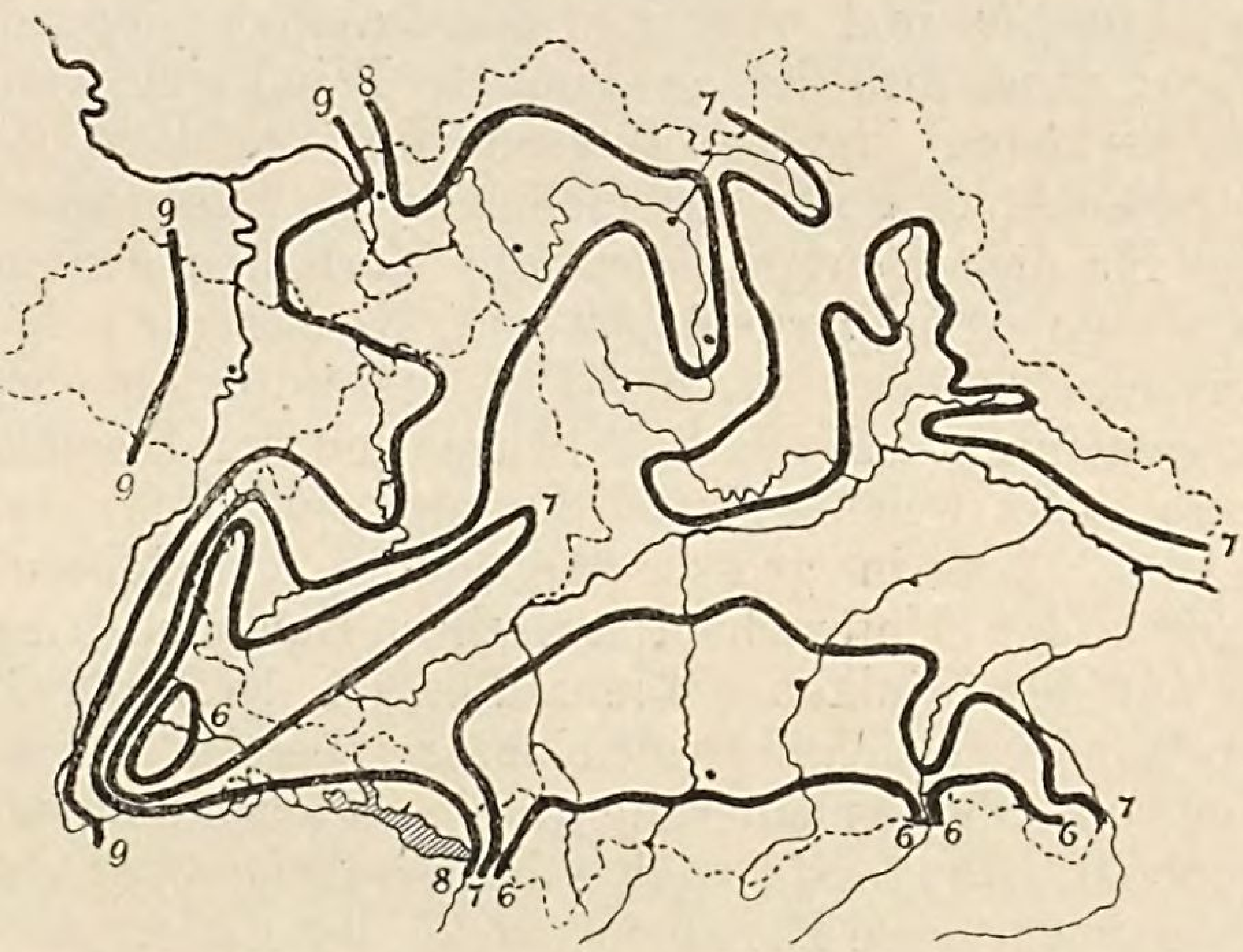
Oertlichkeit	Durchschnittliche Abnahme auf 100 m im				
	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Norweg. Küstenland	0,05°	0,72°	0,91°	0,52°	0,55°
Harz	0,43	0,67	0,70	0,51	0,58
Erzgebirge	0,47	0,67	0,67	0,56	0,59
Nördliche Schweiz	0,34	0,65	0,61	0,47	0,52
Südliche Schweiz	0,47	0,64	0,66	0,56	0,58
Südlicher Kaukasus	0,39	0,56	0,63	0,42	0,50
Bengalen	0,56	0,52	0,47	0,57	0,52
Nordwestliches Indien . . .	0,47	0,64	0,57	0,59	0,56
Zeylon	0,57	0,58	0,62	0,59	0,59
Nördliche Alleghanies . . .	0,40	0,59	0,67	0,52	0,55
Felsengebirge	0,44	0,71	0,69	0,55	0,60

In Hochgebirgsländern kommt nun freilich, wesentlich aber bloss in der kalten Jahreszeit, das entgegengesetzte vor: *In der Höhe ist die Luft wärmer als in der Tiefe.* Man spricht alsdann von einer *Temperaturumkehr*, und diese ist einem jeden wohlbekannt, der bei trübem, kaltem Winterwetter einen höheren Gipfel zu besteigen begonnen hat und, oben angelangt, sich in eine viel wärmere Jahreszeit versetzt fühlt. Schon im deutschen Mittelgebirge, so z. B. an der Hardt in der Rheinpfalz, kann man die Temperaturumkehr kennen lernen; intensiver aber offenbart sie sich hauptsächlich in den östlichen Alpen, im Pinzgau, Lungau, in den Hochthälern Kärnthens, und auch in den Anden, in Schottland u. s. w. hat man die anscheinend auffällige Erscheinung konstatiert. *Hann* gibt dafür eine ganz einfache Erklärung. Die von den schneebedeckten Kämmen abfliessenden Luftmassen gelangen in die Thäler und strömen, wenn diese offen genug sind, wieder ab, so dass eine lebhaftere Luftzirkulation ermöglicht ist. Wenn aber durch die Art der Thalbildung eine solche gehemmt wird, so tritt in den Hohlräumen des Gebirges eine Luftstauung ein; die Luft stagniert und kühlt sich dabei durch Wärmeausstrahlung namhaft ab, während von den höheren Regionen der Atmosphäre her Luft niedersinkt und dabei sowohl sich selbst, als auch die Höhen erwärmt, mit denen sie in Berührung kommt. Ganz wie beim sibirischen Kältemaximum (S. 255) ist auch beim Zustandekommen einer sich längere Zeit erhaltenden Temperaturumkehr die unerlässliche Vorbedingung die, dass das fragliche Gebiet unter der Herrschaft antizyklonaler Winde liegt. Im entgegengesetzten Falle würde der fortschreitende Luftwirbel die stockende Ventilation in Gang bringen und die gewohnte vertikale Temperaturverteilung wieder in ihr Recht einsetzen.

Auch in anderen Hinsichten wird eine entschiedene Beeinflussung der Wärmeverhältnisse durch die Gebirge bemerkbar. *Dieselben bedingen in ihrer Nähe grosse isothermische Gradienten*, d. h. diese Kurven drängen sich an dem Abhange eines solchen in der Regel sehr nahe zusammen. Dies beweist beispielsweise das den Monatsübersichten der bayerischen meteorologischen Zentralstation

entnommene Kärtchen Süddeutschlands (*Fig. 89*), wo wir einerseits den Schwarzwald als Mittelpunkt einer Schar von Isothermen mit sehr grossen Gradienten und andererseits in der Gestalt der einen Isotherme 7 die Konturen des Fränkischen Jura, des Bayer- und Böhmerwaldes scharf ausgeprägt erblicken. Weiterhin darf man, wie dies besonders durch Vergleichung der auf dem Hoch-Obir und in der Klagenfurter Ebene gemachten Wahrnehmungen ermittelt ward, es als sicher annehmen, *dass auf Bergspitzen die den täglichen Temperaturgang darstellende Kurve viel weniger kräftige Formen aufweist, als im Flachlande.* Auch treffen für beide Oertlichkeiten die Temperatur-Maxima und -Minima nicht zu gleicher Zeit ein, und

Fig. 89.



der Gegensatz der Jahreszeiten wird, soweit er sich in der täglichen Amplitude der Temperatur ausspricht, in der Höhe weit weniger verspürt, als in der Tiefe. Uebrigens hat man stets darauf zu achten, dass es nicht allein auf die absolute Erhebung über den Meeresspiegel ankommt, sondern mindestens ebensosehr auf den topographischen Charakter des hoch gelegenen Punktes. Anderenfalls wäre es nicht möglich, dass das Hochthal Leh im Himálaya eine grössere Temperaturschwankung aufweist, als das ziemlich viel niedriger gelegene Peschawer. Alles, was nach dieser Seite hin auszusagen ist, hat *Woeikow* in ein paar Thesen zusammengedrängt, welche uns wichtig genug erscheinen, um hier im Wortlaute mitgeteilt zu werden:

Eine konvexe Oberfläche (Hügel, Berg) stellt eine Ursache dar, durch welche die tägliche Amplitude der Temperatur verkleinert wird, und zwar um so mehr, je grösser das Verhältnis der vertikalen Dimension zur horizontalen ist; umgekehrt wird durch eine konkave Oberfläche (Längsthal, Mulde) die tägliche Amplitude der Temperatur vergrössert, jedoch nicht unbedingt, sondern nur bis zu einem gewissen Verhältnisse der vertikalen Dimension zur horizontalen; normal ver-

hält sich endlich gegen die Tagesamplitude eine vollkommen plane Oberfläche (Hochplateau).

Auf ein ganz anderes Gebiet sehen wir uns geführt, sobald wir die Beziehungen von Tiefen- und Höhenklima zu den *Hydrometeoren* ins Auge fassen. Die Gebirge sind bis zu einem gewissen Grade als *Wetterscheiden* zu betrachten; der Bergabhang zwingt die in angenähert horizontaler Bewegung an ihn herankommende Luft, in die Höhe zu steigen, und damit ist eine Kondensation des Wasserdampfes verbunden, weil ja die von der Erde sich entfernende Luft, wie wir sahen, auch einer Abkühlung unterliegt. Insofern in einer bestimmten Gegend meist auch eine bestimmte regelmässige Windrichtung vorwaltet, so kann man bei einer Gebirgskette — isolierte Höhen verhalten sich weit neutraler — eine dem Winde zugekehrte *Luvseite* und eine im *Windschatten* liegende *Leeseite* unterscheiden; wenn also der gewöhnliche Wind nicht von trockenen Erdstrichen herkommt, ist die Luvseite die reichlich, die Leeseite die wenig befeuchtete Seite des Gebirges [1]). Besonders merkwürdige Belege für dieses entgegengesetzte Verhalten der beiden Abhänge bieten die „Southern Alps" auf Neuseeland: hier wurden auf der Luvseite 287 cm, auf der Leeseite 60 bis 80 cm gemessen. Auch legt gemeiniglich schon die Pflanzenwelt der Berghänge Zeugnis dafür ab, von welcher Seite die atmosphärische Befeuchtung gespendet wird. Nur in grosser Höhe über dem Meere vermischt sich allmählich der Unterschied zwischen Luv und Lee, so dass z. B. oben auf dem Vulkane Mauna Lea (S. 152) der Regen alle Striche der Windrose ziemlich gleichmässig beteilt. Der Regenfall nimmt bereits mit der Annäherung an ein Gebirge und, wenn dessen Fuss erreicht ist, fürs erste auch mit der Höhe über der Ebene [2]) zu. Indessen findet diese Zunahme zuletzt ihr Ende. *In einer nach der geographischen Lage selbst wechselnden Höhe [3]) hört die Regenmenge auf zu wachsen, und von da ab tritt sogar eine langsame Abnahme mit der Höhe ein.*

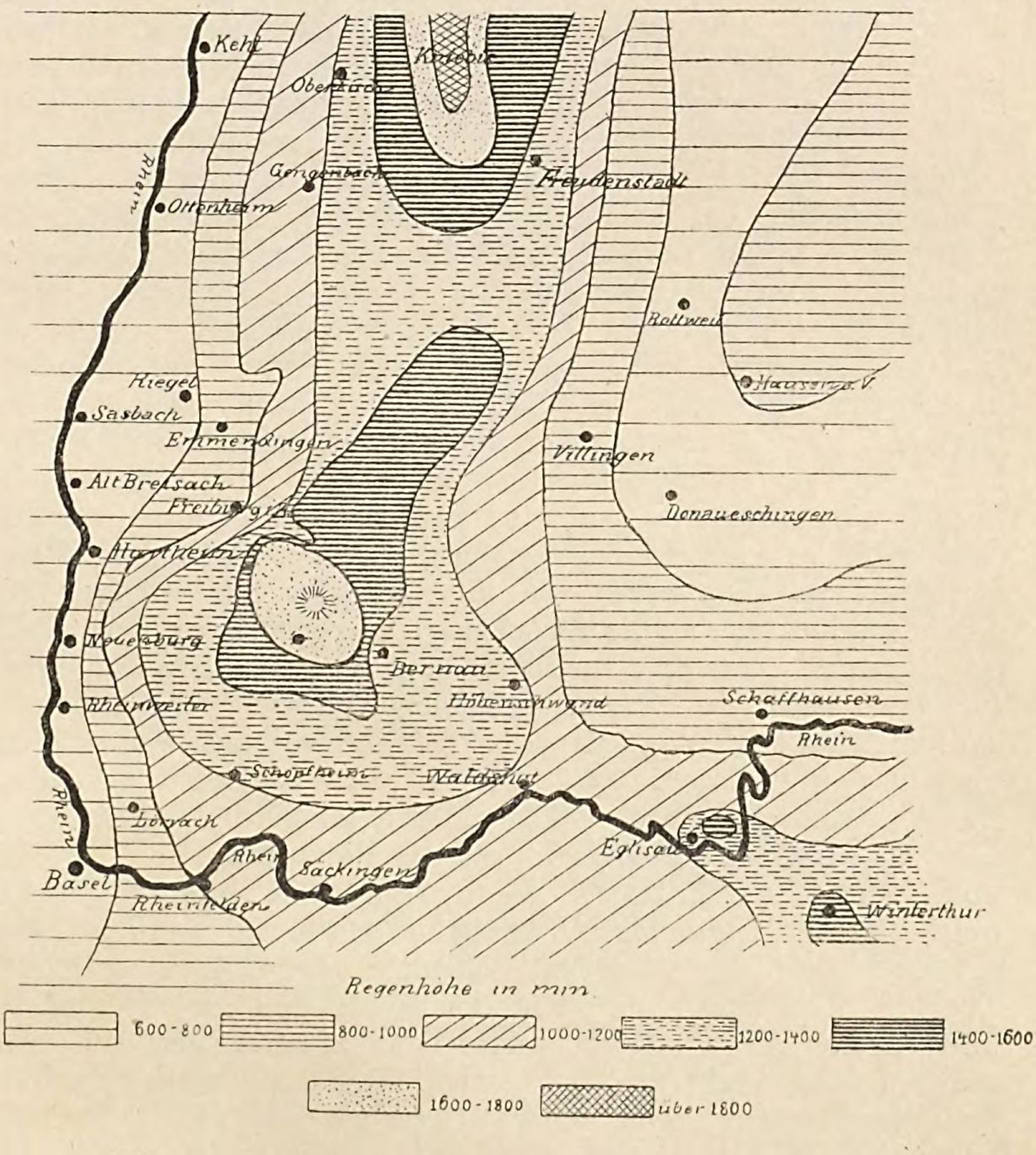
[1]) Dieser Umstand erklärt wesentlich auch die grosse Trockenheit des Fönwindes, zumal in den späteren Stadien seines Auftretens. Die von dem Kamme der Alpen sich in die Niederungen hinabsenkende Luft wird oben durch anderweite Luftmassen ersetzt, welche zunächst an der Luvseite in die Höhe steigen, dann aber in die Fallbewegung, sowie sie erst oben angekommen sind, mithereingezogen werden. Während des Anstieges haben sie aber bereits die ganze mitgebrachte Feuchtigkeit in der Form von Regen abgegeben, und wenn sie somit an der Leeseite herabsteigen, können sie keinen anderen Eindruck als den der grössten Trockenheit hervorrufen.

[2]) Unsere *Fig. 90*, die Ombrometermessungen des von *Honsell* geleiteten meteorologischen Institutes in Baden darstellend, verifiziert obige Aussage vorzüglich, ohne dass eine weitere Erläuterung von nöten wäre.

[3]) Dieses Grenzniveau ist erst für wenige Gebirge mit einiger Sicherheit ausgemittelt worden. *Sykes* verlegt die *Maximallinie des Regenfalles* für den Himâlaya in eine Höhe von 1000 m; *Junghuhn* fand sie in dem gebirgigen Java durchweg viel höher, etwa in 1400 m, liegend. Auf der Karte der *Fig. 90* kann die Abnahme in grossem Abstand vom Meeresniveau deshalb nicht hervortreten, weil der Schwarzwald keine über die betreffende Grenzlinie emporragenden Gipfel besitzt.

Unsere Untersuchung über die Eigenart des Klimas einer Berg- oder Thallandschaft wäre unvollständig, wenn wir nicht auch der Gebirge in ihrer Eigenschaft, *ein Hemmnis des Luftaustausches zu bilden*, gedenken wollten. Der Windschutz kann *distinkte Klimatypen* bilden; er kann die Entstehung antizyklonaler Luftbewegungen und damit die Bildung lokaler Kältepole begünstigen; ihm, d. h. der gewaltigen Gebirgsumrandung des abflusslosen Teiles von Inner-

Fig. 90.



asien, ist die ungeheure Trockenheit dieser Länder und die sich dort kundgebende Neigung zur Steppen- und Wüstenbildung zuzuschreiben. Wohlthätig wird der Windschutz z. B. für die Gegend der lombardischen Seen, von welcher die Alpen, und für die Riviera am ligurischen Meerbusen, von welcher die Apenninen die rauhen Nordwinde abhalten. Bekanntlich findet man hier wie dort südliche Pflanzen vor, die im übrigen Italien unter gleicher geographischer Breite nur im Treibhause gedeihen würden.

Klima und Bewaldung. Es gibt wohl kaum ein klimatologisches Problem, bezüglich dessen die Ansichten so weit auseinandergingen, wie bezüglich der so einfach lautenden Frage: *Uebt der Wald einen Einfluss aus auf das Klima einer Gegend, und wenn, wie gibt sich dieser Einfluss zu erkennen?* Erst seitdem in Deutschland, Oesterreich und in anderen europäischen Ländern der *forstmeteorologische Dienst* in grossem Umfange und nach einheitlichem Plane organisiert ist, sieht man klarer in dieser Sache, und zumal durch die zahlreichen Veröffentlichungen von *Ebermayer* ist die Aufstellung bestimmter, zu den älteren Ansichten teilweise in entschiedenem Gegensatze stehender Gesichtspunkte ermöglicht worden.

Im allgemeinen herrschte bis vor kurzem Einstimmigkeit darüber, dass der Wald ein Regulator der Regenverteilung sei, und dass der Entforstung eines Landstriches Trockenheit des Klimas, verbunden mit der Ersetzung der sanften Landregen durch jähe Wolkenbrüche, auf dem Fusse nachfolge. Gewiss hat auch die Abtreibung grösserer Baumbestände schon zu wiederholten malen nachteilige Konsequenzen gehabt, wie auch andererseits mit Neuanpflanzungen öfters eine Verbesserung des Klimas erzielt worden ist (Insel Ascension, Karstgebirge). Man kann nicht leugnen, dass in früheren Jahrhunderten die Erde waldreicher war, als sie dies heute ist, und so wurde denn auch immer wieder die Behauptung laut, *dass der Wasservorrat der Erde sich progressiv vermindere.* Damit wäre dann ein sehr nachteiliger Kreisprozess eingeleitet, denn wenn es feststeht, dass Quellen, Flüsse und Seen an Wasser verlieren, so kann auch von ihnen wieder nur weniger Wasser durch Verdunstung an die Atmosphäre abgegeben werden, und auch der Regenfall muss eine fortschreitende Abnahme erfahren. *Heinrich Berghaus* und *Wex* haben diese ihre Meinung wesentlich durch hydrometrische Messungen zu bekräftigen gesucht, während andere Forscher, wie *Arago*, *Götz* u. s. w., hauptsächlich geschichtliche Belege heranzogen, durch welche ein Seichterwerden der Ströme allerdings in einzelnen Fällen sich wahrscheinlich machen liess. Gleichwohl kann dieser chronische Wasserverlust der Erdoberfläche keineswegs als eine beglaubigte Thatsache angesehen werden. *Ule* hat mit Recht auf die schweren Bedenken hingewiesen, welche einer direkten Verwertung der Pegelbeobachtungen an fliessenden Gewässern im Wege stehen; angesehene Kenner des Wasserbaues, wie *Schlichting* und *Grebenau*, zeigten, dass das oft unleugbare Sinken der Wasserstände ganz andere Ursachen als eine Abnahme der Wassermenge haben kann und vielfach durch die erosive Thätigkeit des Stromes hervorgerufen wird, welcher sowohl seine Sohle vertieft als auch sein Bett auf Kosten der Uferwände verbreitert.

Zuverlässige urkundliche Nachrichten aus Dänemark, der Schweiz und anderen Gegenden lassen sich nur im entgegengesetzten Sinne deuten, und aus *Brückners* sehr umfänglichen Zusammenstellungen geht gleichfalls ein etwas unerwartetes Resultat hervor: *Soweit aus den von der Entwaldung betroffenen Territorien zuverlässige meteorologische Aufzeichnungen vorliegen, ist irgend ein Nach-*

lass hinsichtlich der Menge der Niederschläge gegen früher nicht zu erkennen. Damit ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass, worauf oben hingedeutet ward, in waldarmen Gegenden der Regen seine Kraft mehr in vereinzelten, heftigen Güssen erschöpft, welche dann im Hochgebirge zur Entstehung von Runsen (Erosionsrinnen) und durch diese wieder zur Wegspülung des Pflanzensamens Veranlassung geben. Jedenfalls kann die Frage, inwieweit der Wald Menge und Manifestationsform der atmosphärischen Niederschläge beeinflusse, noch nicht mit einiger Sicherheit entschieden werden.

Auch die weit verbreitete Lehre, dass die *Waldluft* ihrer Zusammensetzung nach sich grundsätzlich von der Freilandluft und zwar in dem Sinne unterscheide, dass erstere die hygieinisch bessere sei, kann vor den Arbeiten *Ebermayer*s nicht bestehen; ebenderselbe Gelehrte aber wies, wie wir oben (S. 282) erfuhren, nach, worin 216 eigentlich die sanitäre Bedeutung des Waldes zu suchen sei. Wenn wir in grossen Zügen die Charakteristik des Waldes als eines klimatischen Faktors geben sollen, so dürfen wir wohl folgendes als gesichert hinstellen:

Ueberall da, wo nicht starke Dauerwinde jeden Einfluss der Wälder auf das Klima hintanhalten, bringen letztere eine gewisse Annäherung desselben an den Küstentypus zuwege, indem sie die Temperaturgegensätze abstumpfen und eine allzu rasche Verdunstung des in ihrem Bereiche niedergegangenen meteorischen Wassers verhindern.

Dabei macht sich auch die Beschaffenheit der Vegetation geltend. „Geschlossene Bestände" sind weit bessere Behälter, als „offene", und so eignet sich, um nur bei den Koniferen zu bleiben, ein Tannenschlag weit besser dazu, den Konservator der atmosphärischen Feuchtigkeit abzugeben, als ein dem Wehen der Winde weit zugänglicherer Kiefernforst.

Klima und Schnee. Ebenso wie als ein in vielen anderen Beziehungen einflussreiches geographisches Element, so hat man auch in klimatologischer Hinsicht eine *ausgedehnte Schneefläche* erst in allerneuester Zeit als wichtigen Faktor würdigen gelernt. *Hann*, *Billwiller*, *Assmann* sind die Meteorologen, welche über diesen Punkt zu arbeiten begannen; Messungen der Schneedicke und damit der Grösse des Schneefalles sind zuerst von der meteorologischen Zentralstation in München planmässig ins Werk gesetzt worden; in zusammenhängender Darstellung erörterte endlich *Woeikow* die Frage, und an diese Darstellung knüpft unsere eigene im folgenden wesentlich an.

Nach Experimenten, die von *Boussingault* und *Wollny* herrühren, besitzt ein von Schnee bedecktes Bodenstück *mehr Wärmekapazität*, als ein schneefreies, womit eine namhafte Verkleinerung der Temperaturschwankungen in unmittelbarer Verbindung steht. Wie der Wald, bringt also auch die Schneefläche eine gewisse Annäherung an das Küstenklima zuwege. Der Einfluss auf die Lufttemperatur ist natürlich ein ganz verschiedener, je nachdem

das Thermometer ober- oder unterhalb des Gefrierpunktes steht. Im ersteren Falle wird ein Teil der vorhandenen Luftwärme zum Schmelzen des Schnees verwendet und dadurch *gebunden,* d. h. für das Gefühl unwirksam; bis zu einem gewissen Grade kann dies sogar noch bei Temperaturen unter Null eintreten. Dass bei antizyklonaler Luftbewegung eine solche Wirkung weit energischer hervortritt, als bei zyklonaler, ist einleuchtend, und so kam es unter der Herrschaft einer solchen Kalme und bei ausgiebigem Schneeniederschlage im Winter 1877 dahin, dass es in Zentralrussland viel kälter war, als im östlichen Teile des Kaiserreiches, während doch angesichts der kontinentalen Lage des letzteren an sich das Gegenteil zu erwarten gewesen wäre. Insbesondere die Temperaturmaxima fallen in den einzelnen Jahren ganz verschieden aus, je nachdem viel oder wenig Schnee gefallen ist, wofern nicht eben stärkere Luftströmungen für raschen Temperaturausgleich sorgen. Die strahlende Sonnenwärme ist dem Schnee gegenüber verhältnismässig sehr machtlos; es absorbiert derselbe wenig Strahlen, reflektiert vielmehr dieselben, und da auch, wie wir wissen, reine atmosphärische Luft von den sie passierenden Sonnenstrahlen ganz und gar nicht erheblich erwärmt wird, so ist auch der von den unmittelbar auf der Schneedecke ruhenden Luftschichten ausgeübte Schmelzeffekt kein ins Gewicht fallender. Etwas anders allerdings verhält es sich in den polaren Regionen; dort tritt in den oberflächlichen Partien des Schneelagers ein abwechselndes Aufthauen und Wiederfestwerden ein, und damit wird die Aussenseite härter, eisähnlicher, geneigter zur Wärmeabsorption. Das Vorhandensein von Staub — und wir wissen (S. 231), dass diese Beimengung eigentlich niemals ganz fehlt — unterstützt die Schmelzwirkung der Wärmestrahlen. Uebrigens kommt ziemlich viel auch auf die Beschaffenheit des Schneemantels an: er muss, wenn er in der angegebenen Weise eine aktive Rolle spielen soll, homogen sein, eine allenthalben so gut wie gleichmässige Dicke besitzen, wie dies am leichtesten in einem Walde erreicht wird. Waldboden gefriert anerkanntermassen weit weniger tief, als etwa Steppenboden, und aus diesem Grunde wird ersterer von Überschwemmungsgefahren zumeist nicht sehr bedroht, weil er eben dem von oben kommenden Wasser ein leichteres Einsickern gestattet.

Der Schnee des Hochgebirges verhält sich der näheren Umgebung der Schneefelder selbst gegenüber ziemlich neutral, während die Thäler seinen Einfluss sehr deutlich verspüren. Sie werden sehr stark abgekühlt, so dass mithin, wenn einmal zufällig ein Jahr wenig Schneefall hat, die weiter oben beschriebene Temperaturumkehr nicht so leicht als sonst eintritt. Im Himálaya repräsentiert der Hochschnee eine Gefahr für die Bevölkerung des angrenzenden Flachlandes, denn wenn er sich in mächtigen Lagen ansammelt, so bewirkt er eine Luftdruckverteilung, kraft welcher kühle, trockene Westwinde wehen, die sonst um diese Zeit die Regel bildende Regenbildung verhindern und Dürre und Hungersnot über das nördliche Indien bringen. Diese von *Woeikow* bestätigte Entdeckung

Blanfords zeigt recht augenfällig, wie wichtig im Haushalte der Natur ein anscheinend so sekundärer Vorgang, wie es starkes Schneien im unbewohnten Gebirge ist, werden kann.

Frisch gefallener Schnee ist an und für sich eine Quelle energischer Verdunstung und verstärkt somit die etwa bereits vorhandene Tendenz zur Wolkenbildung. Andererseits aber begünstigt die Kälte auch die Entstehung von Antizyklonen, unter deren Regimente der Himmel heiter zu sein pflegt. Ein und dieselbe Grundursache löst, wie man sieht, zwei sich gegenseitig hemmende Thätigkeiten aus, und es kann sich nur im Einzelfalle entscheiden, welche von beiden den Sieg davontragen wird.

Allgemeine Charakteristik der klimatischen Zonen. In einem Handbuche der Klimatologie würde nunmehr zu einer *speziellen Klimabeschreibung* der einzelnen Länder der Erde übergegangen werden müssen. Dies verbietet sich in einem Buche, wie dem vorliegenden, in welchem einer jeden der zahlreichen Unterabteilungen, in welche die physikalische Erdkunde zerfällt, nur ganz enge Grenzen gezogen sein können, von selbst. Wohl aber ist es möglich, eine allerdings nur ganz generelle, von Einzelheiten absehende Beschreibung der einzelnen Erdzonen in klimatischer Hinsicht zu geben, und zwar wird man hiefür von selbst die Einteilung der Erdoberfläche nach den durch das *solare Klima* (S. 252) vorgezeichneten Grundzügen zum Ausgangspunkte wählen. Nicht als ob diese alte Zoneneinteilung die an und für sich beste wäre[1]), aber den Vorzug einer sehr grossen Übersichtlichkeit darf dieselbe jedenfalls für sich in anspruch nehmen. Nur in einem einzigen Punkte hat sich für sie eine Modifikation als unerlässlich herausgestellt, indem nämlich zwischen die tropische Zone und eine jede gemässigte ein Zwischengürtel eingeschoben wird. Wir erhalten deshalb vier ziemlich scharf von einander gesonderte Klima-Typen.

a) *Die heisse Zone.* Dieselbe zeichnet sich durch *grosse Beständigkeit* sowie durch eine *gewisse Periodizität der atmosphärischen Erscheinungen* vor den anderen Erdgürteln aus, während die Einwirkung derjenigen Faktoren, von denen in höheren Breiten das Wechselspiel der Witterung abhängt, sehr in den Hintergrund tritt[2]). Es hängt dies damit zusammen, dass die Sonne auf dem

[1]) Eine, rein wissenschaftlich betrachtet, sachgemässere Klassifikation der Klimate gibt *Supan*, indem er den Betrag der *mittleren jährlichen Temperaturschwankung* zum Masstabe genommen wissen will. Für die Pflanzengeographie andererseits eignen sich am besten die von *W. Koeppen* eingeführten *Wärmezonen*, welche sich nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit, sowie nach der Einwirkung der Wärme auf die organische Welt richten. Hiernach würde es auf jeder der beiden Erdhalbkugeln je sieben verschiedene Zonen geben, und zwar würde als Tropenzone diejenige zu gelten haben, deren Inneres durch eine normale Mitteltemperatur sämtlicher Monate *über zwanzig Grad* gekennzeichnet ist.

[2]) Die Geschichte der Meteorologie lehrt, dass sehr viele Errungenschaften dieses Wissenszweiges den Tropen entstammen. So besonders die Erkenntnis des die Passatwinde regelnden Gesetzes, die Entdeckung der täglichen baro-

ganzen zur Tropenzone zu rechnenden Gebiete stets einen hohen Stand über dem Horizonte behauptet; für die weitaus überwiegende Mehrzahl aller dort befindlichen Orte steht die Sonne im Laufe des Jahres *zweimal*, für die beiden Grenzkreise *einmal*, nämlich an einem der beiden Solstitialtage, im Scheitelpunkte. Der Gegensatz zwischen Sommer und Winter ist, an den Küsten (S. 255) selbstverständlich noch mehr, als im Innern des Festlandes, fast vollkommen verwischt und am Aequator selbst gar nicht mehr zu bemerken; Rio de Janeiro hat z. B. eine mittlere Julitemperatur von 20,0° und eine mittlere Januartemperatur von 26,2°, während für die am Ausflusse des Amazonenstromes gelegene Stadt Pará diese Zahlen resp. durch 26,7° und 27,4° ersetzt werden [1]).

Das Klima ist ein *feuchtwarmes*; sowohl die absolute wie die relative Luftfeuchtigkeit erreichen durchaus einen hohen Stand, und gerade dieser Umstand wird, von den *endemischen Seuchen*, die fast nirgendwo fehlen [2]), abgesehen, dem Europäer nachteilig. Selbst da, wo die Wärme im Durchschnitte nicht über ein gewisses Mass hinausgeht, wirkt diese „Tunnelluft“ erschlaffend auf den Organismus ein und hindert, im Vereine mit der energischen direkten Sonnenstrahlung, den Einwanderer an körperlicher Thätigkeit im Freien. Uebrigens kommen auch sehr hohe Temperaturgrade häufig genug vor, wie denn an den südöstlichen Ufern des Roten Meeres, dessen tropischen Teil man wohl als einen *Hitzepol der Erde* bezeichnen könnte, Temperaturextreme bis zu 56° beobachtet worden sein sollen. Zu den die Akklimatisation des Nordländers erschwerenden Umständen muss auch die allenthalben und ohne namhaften jahreszeitlichen Unterschied *nahezu gleiche Dauer von Nacht und Tag*, sowie nicht minder der fast gänzliche *Wegfall der Dämmerung* gerechnet werden.

Charakteristisch ist für die heisse Zone der regelmässige Wechsel zwischen *Regen- und Trockenzeit*. Da, wo die Sonne zu Häupten steht, muss sich (S. 237) ein intensiver aufsteigender Luftstrom bilden, welcher grosse Dampfmengen zu höheren Regionen der Atmosphäre emporführt, und damit ist die nächste Veranlassung zu jenen bekannten *tropischen Regengüssen*, welche an Grossartigkeit die analogen Erscheinungen anderer Erdgegenden weit hinter sich lassen, gegeben. Gewöhnlich sind es wirkliche Gewitter, die man,

metrischen Schwankung und ihrer Periode, der Nachweis, dass der Mond doch einen gewissen Einfluss auf den Barometerstand ausübt, u. a. m.

[1]) Man denke daran, dass Brasilien zum grösseren Teile der Südhalbkugel angehört, und dass also dort der Hochsommer in den Januar, der tiefste Winter in den Juli fällt.

[2]) Hierher gehören in erster Linie die als Wechselfieber auftretende *Malaria* (mala aria, die schlechte Luft), das fast stets tödliche *gelbe Fieber*, welches die Küsten des Mexikanischen Golfes bis abwärts nach Santos in Brasilien verheert, die auf die Schleimhäute wirkenden *Aphthae tropicae* der Sundainseln u. s. w. Nicht bloss pflanzliche Bakterien, sondern — zumal bei Malaria — auch anderweite Mikroorganismen sind die Schädlinge; diese letzteren führen den Namen *Plasmodien* und sind erst seit kurzer Zeit durch die Forschungen von *Cecchi*, *L. Martin* u. a. mikroskopisch nachgewiesen und als die eigentlichen Träger der Krankheitserscheinungen erkannt worden.

sowohl der Ursache als auch der relativ geringfügigen Nachwirkung zufolge, zu den eigentlichen Wärmegewittern zu rechnen hat. Die elektrischen Entladungen gehen mit gewaltigen optisch-akustischen Begleiterscheinngeu vor sich, aber die zündenden und überhaupt die zerstörenden Wirkungen der Blitze sind vergleichsweise nicht sehr bedeutend[1]). Man könnte glauben, da an jedem Punkte zwischen den Wendekreisen zweimal im Jahre der aufsteigende Luftstrom unter besonders günstigen Verhältnissen sich bildet, so müsste *überall in den Tropen eine zweimalige Regenzeit* herrschen; dem ist jedoch nicht so, die lokalen Verhältnisse greifen auch ihrerseits mitbestimmend ein, *und es existiert kein um den Erdball sich zusammenhängend herumschlingender Gürtel mit doppelter Periode des Regenfalles*. Nicht a priori, sondern nur durch langjährige Beobachtungen kann man ermitteln, in welcher Weise an einer bebestimmten Erdstelle die Regen- und Trockenzeiten mit einander abwechseln[2]).

b) *Die subtropischen Zonen.* Nicht durchweg, aber auf grosse Strecken zieht sich polwärts eine durch Trockenheit und Dürre charakterisierte *Wüstenlandschaft* hin, und an diese schliesst sich wiederum in mehreren Erdteilen die sogenannte *subtropische Zone* an, welche gewisse Eigentümlichkeiten der tropischen mit solchen der gemässigten Erdregion verbindet. Zusammenhängend ist auch sie nicht; den Ozeanen fehlt sie so gut wie gänzlich, und von Asien kann nur der westliche Teil hier einbezogen werden. Dagegen ist sie in Nordamerika und in der südlichen Hälfte von Australien schon viel deutlicher ausgeprägt, und besonders ist es Afrika, wo wir nördlich von der Sáhara und südlich von der Kalahari subtropischen Klimaformen begegnen. Dieselben erstrecken sich auch über Südeuropa und das westliche Asien, so dass man sogar folgende Definition aufzustellen ein Recht hat: *Die nördliche subtropische Zone der Alten Welt deckt sich vollständig mit dem Mittelmeerbecken, dieses Wort in seinem weitesten Sinne genommen*[3]).

Massgebend ist für diese Erdräume die eigenartige zeitliche Verteilung der Niederschläge. Während es unter den Tropen ge-

[1]) Von *Emin Pascha* hat man jedoch erfahren, dass es am oberen Nil doch nicht ganz selten einschlägt, und auch *Casati* führt eine nicht eben geringe Anzahl von Fällen an, in denen Häuser beschädigt, Bäume zerspalten, Menschen mehr oder weniger schwer beschädigt worden sind.

[2]) So kennt, um ein merkwürdiges Beispiel anzuführen, die Insel Haiti bloss je eine einzige Regen- und Trockenzeit; das benachbarte Jamaika dagegen hat zwei getrennte Regen- und zwei ebensolche Trockenzeiten.

[3]) Hierher gehören etwa die nachstehend aufgezählten Länder: Ostspanien, das südlichste Frankreich, Italien mit Einrechnung des Kantons Tessin, Tirols südlich vom Brenner und des österreichischen Küstenlandes, die Balkanhalbinsel in ihren Küstengebieten, der Nord- und Ostrand des Schwarzen Meeres, Türkisch-Asien ohne die gebirgigen Teile des Inneren, Arabien nebst den südlich von der grossen Salzwüste gelegenen Landschaften Irans, Aegypten, Tripolitanien, Tunis, Algerien und Marokko bis zum Abhange des Atlas und endlich die Archipele der Azoren, der Kanarien und die Gruppe Madeira-Portosanto. Auf dem afrikanischen Festlande hat gegenüber diesen Inseln bereits das Wüstenklima platzgegriffen.

wisse Teile des Jahres hindurch fast immer, zu gewissen Zeiten aber fast gar nicht regnet, gilt für die subtropische Zone der Erfahrungssatz: *Die atmosphärischen Ausscheidungen bevorzugen eine gewisse Jahreszeit.* Im Bereiche der Mittelmeerländer ist dies entschieden der Winter, so dass man auch von einem *Gebiete der Winterregen* sprechen darf. Je mehr man sich von Süden her der Grenze der — im engeren Sinne — nördlichen gemässigten Zone nähert, um so mehr nehmen alle Monate an der jährlichen Regenmenge teil, allein die stärkere Befeuchtung der Wintermonde ist auch noch in Lugano, Bozen und Görz unverkennbar. Anders in Südafrika, das wir auf Grund von *K. Doves* Forschungen in Klimagebiete einzuteilen vermögend sind; hier wiegt nicht mehr so einseitig der Winter vor, aber die *jahreszeitliche Auslese des Regens* drückt auch jeder dieser einzelnen Klimaprovinzen den Stempel auf.

c) *Die gemässigten Zonen.* An sich scheint ein Widerspruch darin zu liegen, dass man den Klimatypus *der ausgesprochenen Unbeständigkeit* als den gemässigten schlechthin bezeichnet. Und doch ist dies völlig gerechtfertigt, denn insbesondere für körperliche und geistige Gesundheit des Menschen ist, wie dies schon *Hippokrates* bei seiner genialen Vergleichung der den einzelnen griechischen Stämmen zukommenden Charakterzüge betont hat, jener Wechsel ein erstes Erfordernis. Im übrigen sind die gemässigten Erdstriche die *Zonen der vorherrschenden Westwinde.*

d) *Die kalten Zonen.* Das Klima der *antarktischen Kalotte* ist uns lediglich aus gelegentlichen, kein grösseres Territorium umfassenden Beschreibungen bekannt; es scheint sich darüber nicht viel weiter sagen zu lassen, als dass eine mächtige Antizyklone den Südpol jahraus jahrein in ihrem Banne hält. Natürlich gilt für die südliche wie für die nördliche Polarzone eine gemeinsame Haupteigenschaft: *Die Sonne ist einen Teil des Jahres über zirkumpolar, während eines zweiten Teiles geht sie, wie bei uns, auf und unter, und der dritte Teil, dessen Länge genau dieselbe ist, wie die des ersten, ist durch die Unsichtbarkeit der Sonne gekennzeichnet.* Dass die Kälte in der Nähe des Polarkreises eine grössere ist, als näher am Pole, haben wir oben schon (S. 255) erfahren. Der jährliche Temperaturgang ist ein anderer, als innerhalb der gemässigten Zonen; es tritt eine Verschiebung des Wärmeminimums ein, welche bewirkt, dass der März durchweg als der kälteste Monat des Jahres zu gelten hat. Die relative Luftfeuchtigkeit hält sich meistens auf niedrigem Stande, und so ist auch das Vorkommen jener distinkten Wolkenformen, die wir so gewohnt sind, etwas seltenes, wogegen allerdings *Frostnebel* (in Sibirien *morók*) die Aussicht des Seefahrers nur allzu häufig beschränken. Heftige Stürme wüten fast ausschliesslich in den an das nördliche Europa und Asien angrenzenden Teilen der Polarkalotte, wo dann allerdings die berüchtigten *Buráne* mit Recht gefürchtet sind.

Im allgemeinen muss das Polarklima als ein sehr gesundes bezeichnet werden. Die mikroskopischen Feinde der menschlichen

Gesundheit finden offenbar in jenen Eisregionen nicht den günstigen Nährboden vor, dessen sie für ihre Entwicklung bedürfen.

Veränderungen des Klimas. Alle unsere bisherigen Erörterungen ruhten auf der stillschweigend zugestandenen Grundlage, *dass für eine bestimmte Erdstelle deren Klima konstant sei, sich mit der Zeit nicht verändere.* Es wird nunmehr darauf ankommen, zu untersuchen, inwieweit wir überhaupt berechtigt waren, von dieser Voraussetzung auszugehen.

Darüber, dass in früheren geologischen Zeitaltern die Verteilung der Klimate eine vielfach andere war, als wir dieselbe heute beobachten, kann ein Zweifel nicht herrschen, aber es hat bis jetzt noch nicht gelingen wollen, sichere Anhaltspunkte für die älteren Perioden zu gewinnen. Selbst für die Kohlenzeit steht es (S. 89) noch gar nicht so fest, als man früher annahm, dass damals ein gleichmässig feuchtwarmes Klima auf der ganzen Erde geherrscht habe, und von der Dyas hielt sich *Lyell* überzeugt, dass in der Zeit, welche zur Ablagerung ihrer Schichten nötig war, das tropische Klima durch Intervalle von beträchtlich kälterem Charakter unterbrochen gewesen sei. Eine tiefer gehende Untersuchung hat *Neumayr über das Klima der Juraperiode* angestellt. Er zeigte, dass gewisse Fossilien, die der nämlichen ozeanischen Fauna angehörten, trotzdem Abweichungen von einer genau festzustellenden Art aufweisen, und zwar finden sich diese Verschiedenheiten weit weniger bei solchen Tieren, welche ungefähr unter gleicher geographischer Breite lebten, als bei solchen, deren Wohnsitze durch eine namhafte Breitendifferenz von einander getrennt waren. Auf solche Ueberlegungen sich stützend, zeichnete der genannte Paläontologe eine Karte der Wärmezonen im jurassischen Zeitalter, aus welcher erhellt, dass die grossen Abteilungen, die wir heisse, gemässigte und kalte Zone nennen, schon in jener altersgrauen Vorzeit deutlich angedeutet gewesen sind. Auffällig und der modernen Sachlage zuwiderlaufend erscheint nur der einzige Umstand, dass an einer Stelle — im gegenwärtigen Asien — die Mittelzone bis zu äusserster Dünnheit zusammenschrumpft und nur als Isthmus zwischen Tropen- und Polargürtel sich durchzieht, allein auch für diese Anomalie gibt die damals so ganz andere Austeilung des festen und flüssigen Elementes eine genügende Erklärung an die Hand [1]).

Homogen also war das Klima schon während der mesozoischen Aera nicht mehr, aber immerhin mag es noch eine verhältnismässige Homogeneität besessen haben im Vergleiche mit der *Tertiärzeit*, von deren Beginne an die modernen Klimazonen sich immer schärfer ausbilden. Den Nachweis dafür hat hauptsächlich *Heer* durch un-

[1]) Nicht ganz in Uebereinstimmung mit *Neumayrs* Klassifikation steht es, dass *Nathorst* auf Spitzbergen Pflanzenabdrücke fand, welche derselben Juraflora wie gewisse in Indien entdeckte Dokumente der Phytopaläontologie anzugehören scheinen.

ausgesetztes Studium der pflanzlichen Versteinerungen geliefert; seine „*Flora fossilis arctica*“ muss nach dieser Richtung als ein Fundamentalwerk angesehen werden. Im Eozän wuchsen innerhalb der Polarzone noch Pflanzen von subtropischem Charakter; in der Oligozänzeit sind dieselben schon nach weit niedrigeren Breiten herabgedrängt, und die Mio- und Pliozänepoche sahen diesen Prozess immer weitere Fortschritte machen, so dass der plistozäne Mensch, wenn es einen solchen wirklich gab (S. 95), unter ganz ähnlichen klimatischen Bedingungen gelebt haben muss, wie sein rezenter Nachfolger.

Dann trat jener merkwürdige Abkühlungsprozess ein, welcher ein gewaltiges Anwachsen der Gletscher in der Diluvialzeit zur Folge hatte; die Erde trat in ihre *Eiszeit* oder *Glazialperiode* ein, die jedoch mutmasslich keine der Zeit nach einheitliche war, sondern durch *intermediäre eisfreie Zeiträume* unterbrochen gewesen sein dürfte. Wir werden weiter unten, in Abschnitt XV, die Gründe für diese Ansicht kennen zu lernen und zu prüfen haben. Dort wird auch die vielumstrittene Frage aufzuwerfen sein, worin denn eigentlich eine so tief gehende Umgestaltung des Klimacharakters weiter Erdräume ihren Grund habe. An dieser Stelle soll nur noch davon gehandelt werden, *ob in der rezenten Zeit belangreichere Aenderungen des Klimas sich ereignet haben.*

Manche Forscher, unter denen der Norweger *Blytt* in erster Reihe steht, haben auf *botanischem Wege* sich hierüber Klarheit zu verschaffen gesucht. Aus der eigentümlichen Wechsellagerung der Pflanzen in den Mooren, sowie aus der Thatsache, dass gewisse Gewächse, wie Ueberreste einer ihrer Hauptmasse nach untergegangenen Flora, an einzelnen geschützten Orten sich erhalten haben, wurde der Schluss auf einen mehrfachen Wechsel wärmerer und kälterer Jahresfolgen gezogen. Sehr viele andere Gelehrte suchten durch *Vergleichung geschichtlicher Angaben* indirekte Merkmale für eine allfallsige Aenderung des Klimas zu erhalten, indem sie allerdings durchweg von der Ansicht ausgingen, dass das Eingreifen des Menschen — Entsumpfung, Entwaldung, Wiederaufforstung — das Klima energischer zu beeinflussen vermöge, als es wohl in Wirklichkeit der Fall ist (S. 262). Schon im vergangenen Jahrhundert stellten *Williamson, Rappold, Hamilton* derartige Betrachtungen an; später haben *Arago, Ideler, Picot, Martins* u. a. die verschiedensten Länder der Erde unter diesem Gesichtspunkte durchmustert, ohne aber in ihren Resultaten zur Uebereinstimmung zu gelangen. Wie immer dann, wenn man sich mit indirekten, erst der Interpretation bedürftigen Kennzeichen begnügen muss, fehlt den dem einen unzweideutig dünkenden Schlussfolgerungen die Beweiskraft für den anderen. Ein so gründlicher Kenner der Mittelmeerländer z. B., wie *Th. Fischer*, glaubt bestimmt, dass die Grenze der Wüste in geschichtlicher Zeit sich nordwärts verschoben habe, dass gegenwärtig in tunisischen Landschaften nur noch das Kamel gezüchtet werde, während in ebendenselben vor 2—3000 Jahren, als noch die Befeuchtung eine reichlichere war, auch noch Pferde und Maul-

tiere ganz gut fortgekommen seien. Gerade für das hier in Rede stehende Gebiet der „Schotts“ oder Salzsümpfe aber sind nach *Partsch* gar keine nennenswerten Veränderungen nachzuweisen; ja der viel besprochene Triton-See der Alten scheint während der Römerherrschaft nach Beschaffenheit und Umrisslinien wesentlich der gleiche gewesen zu sein, als welcher er sich uns in unseren Tagen darstellt.

Ein kräftiges Ferment ist in die Untersuchungen über das Problem der Klimaänderungen durch *Brückner* hineingetragen worden. Auch er benützt da, wo keine besseren Erkenntnisquellen fliessen, indirekte Kennzeichen, wie besonders die *Verschiebung der Erntetermine*, auf deren Verwertung für unseren Zweck bereits *Dufour* hingewiesen hatte. Auch die *wechselnden Eisverhältnisse* nordischer Flüsse und Seen können, nachdem *Rykatschew* ein stattliches Material zur Verfügung gestellt hat, zum Vergleiche herangezogen werden. Den besten klimatischen Indikator jedoch liefern die *Wasserstandsschwankungen abflussloser Seen*, wie sie in Innerasien, in Zentralafrika, in Hocharmenien so häufig vorkommen. Man besass, als *Brückner* seine Arbeit begann, bereits die mühsamen Zusammenstellungen von *Sieger* für eine ganze Anzahl dieser Seen, und *Brückner* selbst fügte die Serie der *Filipow*schen Pegelmessungen am Kaspischen Meere hinzu, welche allerdings erst durch Anbringung mancher Korrektionen verwendbar gemacht werden konnten. Bei Wasserbecken der bezeichneten Art gibt es nur je einen Faktor der Zu- und Abfuhr; letztere ist identisch mit der Verdunstung, *und diese wieder ist von der klimatischen Gesamtlage abhängig.*

Die von *Brückner* angefertigten Kurvendiagramme nun, welche sich über einen sehr grossen Teil der Erdoberfläche ausdehnen, ermöglichen es, aus ihnen eine empirische Wahrheit herauszulesen, welcher sich die nachstehende Fassung erteilen lässt: *Es existiert eine auf der ganzen Erde stets in gleichem Sinne sich äussernde säkuläre Klimaschwankung, deren mittlere Periodenlänge sich ungefähr auf 35 Jahre veranschlagen lässt.* Jahresfolgen von trockenwarmem und von feucht-kühlem Charakter wechseln mit einander ab, wie sich dies namentlich auch in den Schwankungen der Grösse der Gletscher (s. u. in Abschnitt XV) erkennen lässt. Ob diese Periodizität einem allgemein-kosmischen Gesetze folgt, ob sie sich etwa, was allerdings kaum wahrscheinlich ist, zu der elfjährigen Periode der Sonnenfleckenfrequenz in Beziehung setzen lässt, ob Vielfache von ihr einem gewissen Multiplum der von *W. Koeppen* aufgefundenen Wärmeperioden gleich sind, das sind Fragen, die sich ganz von selber aufdrängen, auf welche aber irgend einen Bescheid zu geben zur Zeit noch nicht möglich ist. Der fortschreitenden Forschung, für welche *Brückners* Studien insbesondere auch in methodischer Beziehung grossen Wert haben, eröffnet sich hier noch ein sehr weites, gute Erfolge verheissendes Arbeitsfeld.

XII. Das Meer im Ruhezustande (ozeanische Statik).

Verteilung von Land und Wasser. Während man in früherer Zeit gar keinen Zweifel daran hegte, dass die Festlandsoberfläche des Erdballes dessen Wasseroberfläche an Grösse bedeutend übertreffe, ist man seit dem Zeitalter der grossen geographischen Entdeckungen mehr und mehr zu der gerade entgegengesetzten Ansicht gekommen. An die Stelle roher Schätzungen trat, nachdem man Erdkarten von einiger Genauigkeit erhalten hatte, die eigentliche *Messung*[1]), auf welche gestützt zuerst *Malte-Brun* zu der zutreffenderen Behauptung sich geführt sah, das Verhältnis des Landareales zum Wasserareale sei gleich 1 : 2,31. Neuere Bestimmungen haben diese Verhältniszahl natürlich noch verschärft, und zwar ist nach *Behm* und *H. Wagner* dieselbe gleich

136.038.872 : 373.911.842 angenähert = 1 : 2,759.

Auf eine absolute Genauigkeit kann und will dieses Ergebnis, von den unvermeidlichen Karten- und Messungsfehlern zunächst ganz abgesehen, schon aus dem Grunde nicht anspruch machen, weil wir über die Verteilung von Meer und Festland in den beiden Polarzonen einstweilen noch recht wenig unterrichtet sind.

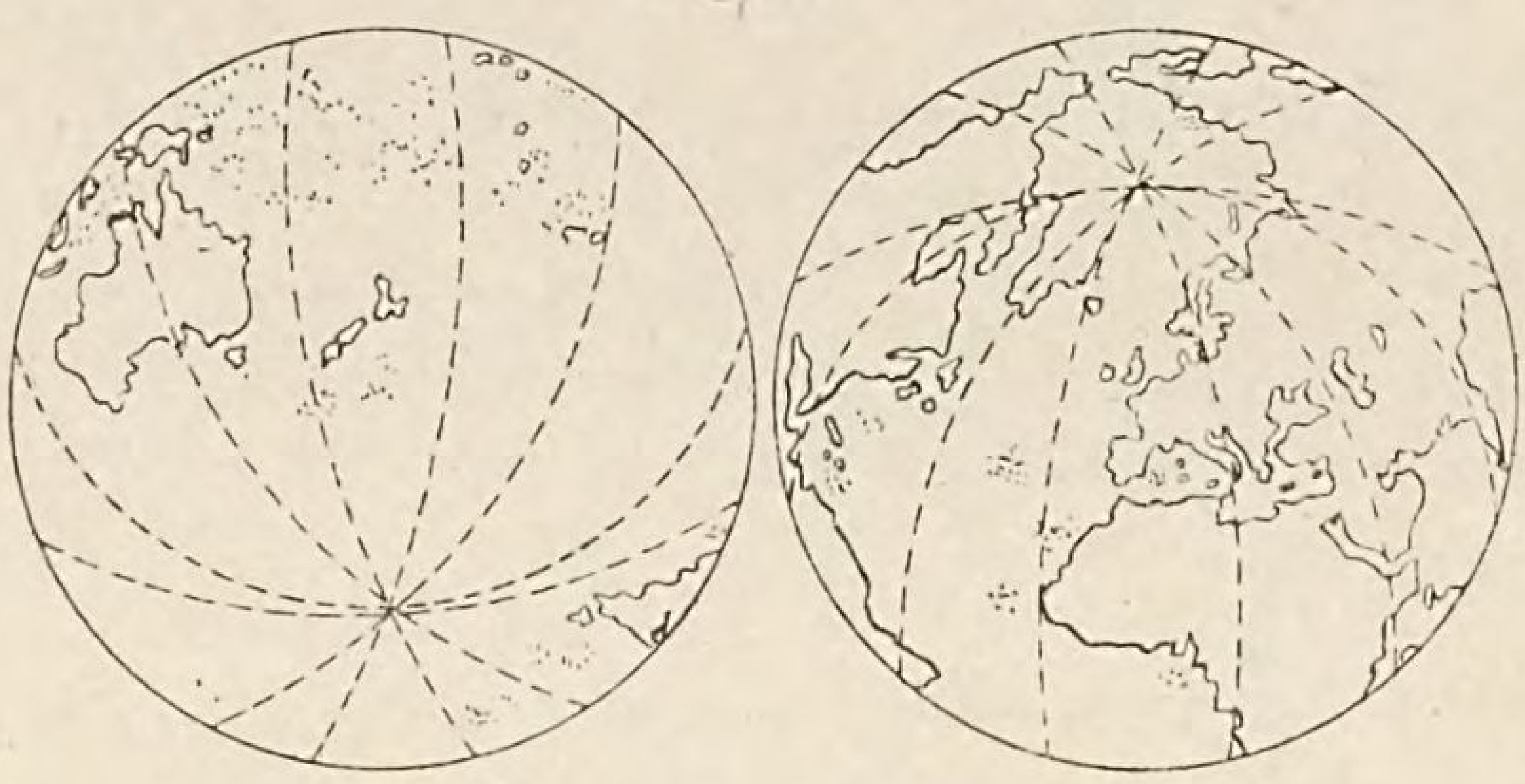
Wenn man eine stereographische Abbildung der beiden Erdhälften unter der unserer *Fig. 91* zu grunde liegenden Voraussetzung vornimmt, dass als Projektionszentren bezüglich die Stadt Paris und deren Antipodenpunkt zu gelten haben, so erhält man zwei Halbkugeln, deren eine ein relatives Maximum von Land, deren andere ebenso ein relatives Maximum von Meer in sich aufgenommen hat. Wir bezeichnen beide resp. als *Land-* und als *Wasserhalbkugel*.

Auch die Versuche, *die einzelnen Meeresräume nach morphologischen Grundsätzen zu klassifizieren*, gehen, wie *Wisotzki* und

[1]) Vorbedingung für eine zuverlässige Messung ist die Herstellung der Erdkarte in *äquivalenter* oder *flächentreuer Projektion*, welcher also die Eigenschaft zukommt, dass beliebige Flächenstücke in der Kopie ganz das gleiche Verhältnis beibehalten, in welchem sie auf der Originalfläche zu einander standen. Im übrigen stehen drei Methoden zur Verfügung. Man kann ein Netz von sehr kleinen Quadraten auf das auszumessende Gebiet legen und zusehen, wie viele solche Quadrate in dasselbe fallen, wobei dann allerdings längs der Grenzlinien noch eine Abgleichung nach dem Augenmasse stattzufinden hat, oder man kann, nach dem Vorgange von *Rigaud*, die einzelnen Kartenstücke mit der Scheere ausschneiden und das Gewichtsverhältnis, welches ja bei der allenthalben gleichen Dicke und Dichte des Papieres mit dem Flächenverhältnis übereinstimmen muss, mittelst der Wage feststellen. Der sicherste und bei einiger Uebung auch bequemste Weg wird jedoch durch die *mechanische Planimetrie* dargeboten; man umfährt mit dem Fahrstifte des Planimeters die Umfangslinie der Figur und kann dann, wenn ersterer wieder in seine Anfangsstellung zurückgeführt ist, unmittelbar den Flächeninhalt der Figur ablesen.

Krümmel nachgewiesen haben, bis auf eine ziemlich frühe Zeit zurück. *Fleurieu*s und *Struyck*s Bestrebungen lassen wenigstens das hervortreten, dass man die freien und selbständigen Meere von den in eine engere Fühlung mit dem Festlande tretenden Nebenmeeren mit Bewusstsein trennte. Zur Zeit haben *Krümmel*s morphologische Begriffsbestimmungen bei den Geographen den meisten Anklang gefunden. *Ozeane* oder *Weltmeere* sind hiernach diejenigen grossen Meeresbecken, innerhalb deren sich besondere, mit denen anderer Meere nicht in Verbindung stehende Systeme der Wasserzirkulation (vgl. Abschnitt XIII) herausgebildet haben; die tief in das Innere

Fig. 91.



der Kontinente eingreifenden Meeresräume werden, nach dem klassischen Beispiele des Mare mediterraneum der Alten, als *Mittelmeere* bezeichnet — Baltisches Meer, Persischer Golf, Sunda-See, Mexikanisch-Karaibischer Meerbusen —, und wenn endlich die Küstenlinie zwar auch gegen das Binnenland konvex verläuft, aber doch nur einen schwach geschwungenen Bogen darstellt, so liegt ein *Randmeer* — Chinesisches und Ochotskisches Meer — vor. Die bekannten geographischen Namen *Bucht, Bai, Golf, Busen* sollten, wenn obige Terminologie konsequent durchgeführt wird, nur auf verhältnismässig kleine Eingriffe des Meeres in das Festland beschränkt werden. Die Begriffe *Meeresstrasse* und *Sund* sind zu geläufig, um hier einer eingehenderen Definition zu bedürfen.

Wie man die Abgrenzung der einzelnen Meeresbezirke vornehmen will, das wird stets Sache der individuellen Anschauung sein, wenn man nicht kurzweg schematische Grenzen in der Form von Meridianen und Parallelkreisen zulässt. *Krümmel*s Einteilung will diese letzteren nur da anerkennen, wo uns unzureichende Sachkenntnis noch nichts besseres an deren Stelle zu setzen erlaubt; die von diesem Geographen mittelst des Planimeters für die grossen selbständigen Meere unserer Erde ermittelten Grössen sind die folgenden:

Grosser Ozean	175,6	Mill.	Quadratkilometer
Atlantischer Ozean . .	88,6	„	„
Indischer Ozean . . .	74,0	„	„
Südliches Eismeer . .	20,5	„	„
Nördliches Eismeer . .	15,3	„	„

Die Addition ergibt für *das Gesamtareal aller Erdmeere* einen Betrag von 374000000 qkm.

Tiefenverhältnisse der Meere. Wollte man, nachdem so die Oberflächengrösse des Meeres bekannt ist, auch das Gesamtvolumen alles auf der Erde vorhandenen Meereswassers bestimmen, so müsste man die *mittlere Tiefe* der Ozeane kennen. Diese Aufgabe kann, da nicht einmal die geoidische Meeresfläche (S. 44) und noch viel weniger der Meeresgrund einer regelmässig geometrischen Fläche gleichzuachten ist, selbstverständlich nicht mit Genauigkeit gelöst werden. Für mehrere einzelne Meeresräume hat *Krümmel* diese Bestimmung im Sinne der nachstehend angegebenen Norm durchgeführt. Wenn man die Fläche F des in betracht gezogenen Meeres, innerhalb dessen man die Tiefenmessungen $h_1, h_2 \ldots h_n$ vorgenommen hat, in Parzellen $\Delta^1 F, \Delta^2 F \ldots \Delta^n F$ einteilt und nun die allerdings stets unsichere Annahme macht, dass für alle der Parzelle $\Delta^k F$ angehörigen Punkte die Tiefe h_k als gleichbleibend vorausgesetzt werden dürfe, so ist die mittlere Tiefe des betreffenden Meeres

$$m = \frac{1}{F}(h_1 . \Delta^1 F + h_2 \Delta^2 F + \ldots + h_k \Delta^k F + \ldots + h_n \Delta^n F).$$

Der in der Klammer stehende Ausdruck stellt approximativ den kubischen Inhalt der von der Fläche F überdeckten Meerwassermenge vor.

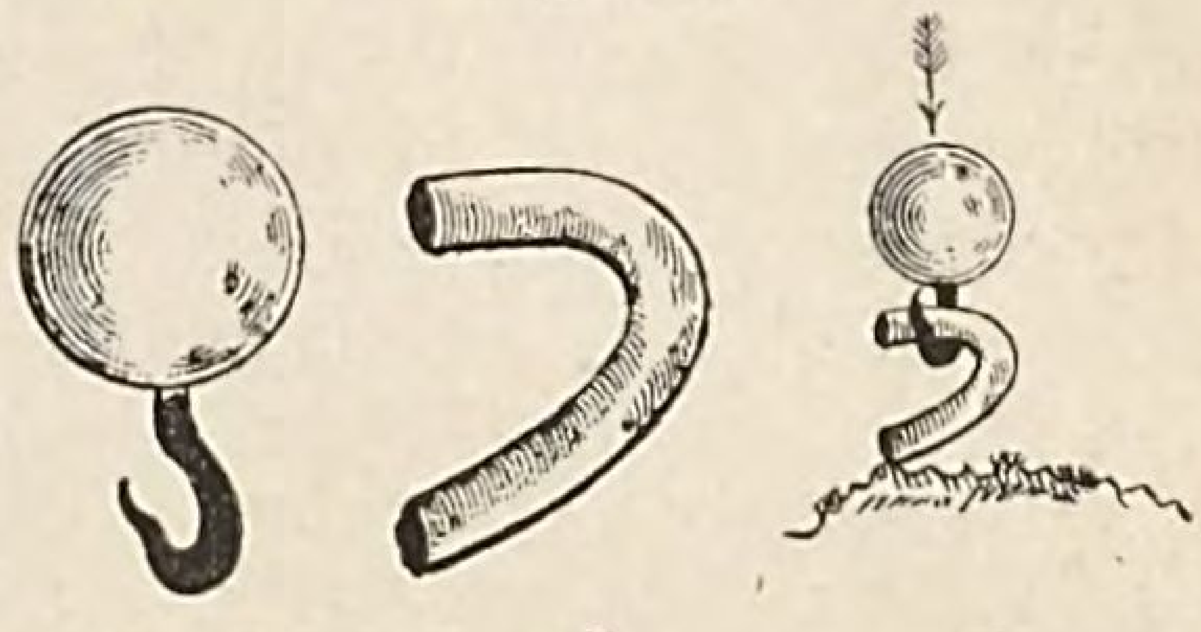
Man sieht, dass eine möglichst grosse Anzahl von Tiefenmessungen oder, wie man auch sagt, *Lotungen* die notwendige Voraussetzung für weitergehende Untersuchungen ist. Die Schiffer hatten von jeher ihr Bleilot ausgeworfen, weil sie durch dessen Anwendung sich bei bedecktem Himmel einigermassen über den Ort, an welchem sie sich befinden, orientieren können. Neuerdings aber sind die Messungsmethoden wesentlich verbessert worden, und die wichtigsten derselben wollen auch wir in Kürze hier verzeichnen.

a) *Die direkte Lotung.* Von einer am Hinterteile des Schiffes angebrachten Rolle wird die sogenannte Leine abgehaspelt, welche aber, wenn es sich um grössere Tiefen handelt, keine wirkliche Leine, sondern ein *Klaviersaitendraht* ist. *W. Thomson* hat letzteren in Vorschlag gebracht, weil er auch durch den stärksten Wasserdruck nicht beschädigt wird. Am unteren Ende trägt Schnur oder Draht einen schweren Körper, das eigentliche *Lot*, und sowie durch den beim Aufschlagen erfolgenden Ruck der richtige Augenblick angezeigt wird, zieht der Beobachter die Leine empor, um die abgewickelte Länge, für welche die Anzahl der Umdrehungen das Mass abgibt, in Ruhe zu ermitteln. Gewöhnlich nennt man diese Vorrichtung *Thomsonsches Patentlot.*

b) *Die Auslösungsvorrichtungen.* Schon die ersten *Bathometer* oder eigentlichen Tiefenmesser, welche *Nikolaus von Cues* im XV., *Blancanus* und *Puehler* im XVI. Jahrhundert beschrieben, basierten

auf dem Gedanken, dass man den Lotapparat mit einem Ballastkörper verbinden müsse, der sich beim Auftreffen loslöse, während ersterer dann entweder frei wieder in die Höhe steige oder bequem aufgezogen werden könne. Das Bathometer eines gewissen *Alberti* ist in *Fig. 92* abgebildet; *a* ist der spezifisch leichte Sinkkörper, der nur in Verbindung mit dem schwereren Haken *b* thatsächlich untergeht, und bei *c* sehen wir die Trennung der beiden Bestandteile des Instrumentes sich vollziehen. Allein bei allen diesen Apparaten, zu denen auch der *Explorator abyssi* von *Hooke*, die *Tiefensonde* von *Stipriaan Luiscius* und andere gehören, muss man aus der Zeit, welche der leichte Körper bis zum Wiedererscheinen an der Oberfläche braucht, einen Schluss auf die Wassertiefe ziehen, und dies ist gar nicht so einfach, da ja eine *Bewegung im widerstehenden Mittel* vorliegt. Das vielgebrauchte Bathometer des Amerikaners *Brooke* ist deshalb auch ein eigentliches Lot mit Auslösemechanismus; eine schwere Metallkugel ist längs eines Durchmessers durchbohrt, und in die Höhlung passt ein leichter Stab, der durch eine eigentümlich konstruierte Haltvorrichtung einerseits mit der Lotleine selbst, andererseits aber mit einer die Kugel umschlingenden und tragenden Schnur verbunden ist. Sowie der in der Vertikalrichtung frei bewegliche Stab den Grund erreicht hat, geht er unverzüglich in die Höhe, und gleichzeitig löst sich von ihm die Kugel, welche auf dem Boden liegen bleibt, während man den Stab selbst wieder emporziehen kann.

Fig. 92.



c) *Apparate zur indirekten Bestimmung der Tiefe.* In erster Linie kommen hier diejenigen Instrumente in betracht, welche den *Wasserdruck* und erst auf diesen hin auch die erreichte Tiefe zu messen bestimmt sind. Der Nachteil derselben besteht darin, dass kein sehr hohes Mass von Genauigkeit erreicht werden kann, während dem freilich ein grosser Vorzug in dem Umstande gegenübersteht, dass man nicht bis zum Meeresgrunde zu loten genötigt ist, sondern z. B. bei submarinen Thermometermessungen (s. u.) die Niveaufläche, der eine gewisse Temperatur zukommt, ohne weiteres festzulegen vermag. Der Druck des Wassers nimmt mit der Tiefe zu; ungefähr von 10 zu 10 m steigt derselbe um eine Atmosphäre[1]).

[1]) Wie ungemein stark der Druck des Wassers wirkt, das wird durch einen Versuch *Buchanans* sehr deutlich illustriert. Man steckte eine mit Luft gefüllte Glasröhre, die hermetisch verschlossen und mit Flanell umwickelt war, in eine an den beiden Enden offene Kupferhülse und liess diese bis zu einer Tiefe von beiläufig 3600 m einsinken. Beim Aufholen fand sich die Hülse eingedrückt vor, während die Röhre zu Glaspulver zermalmt war. Irrtümlicherweise hatte man an diese Thatsache den Schluss angeknüpft, dass in sehr grossen Tiefen keine organischen Wesen mehr existieren könnten, allein man hatte nicht bedacht, dass ja die Körperhöhlen der abyssischen Tiere mit Wasser und Luft von gleichem Drucke erfüllt seien; man hatte also des gleichen Trug-

Man hat nun *Manometer* konstruiert, welche den Druck an einer gewissen Stelle anzeigen; *Schreiber, Hopfgarter* u. a. haben das beim Messen des Luftdruckes bewährte *Prinzip des Aneroides* auch in den Dienst der vorliegenden Aufgabe gestellt. Wieder anders wirkt der *chemische Druckindikator* von *William Thomson*. Eine geteilte, unten offene Glasröhre wird ins Meer so versenkt, dass sie bei wachsendem Druck des umgebenden Wassers sich mehr und mehr mit diesem füllt; dieses Wasser zersetzt die Belegung der Röhre und färbt so denjenigen Teil, bis zu welchem Flüssigkeit eingedrungen war, rötlich, so dass, wenn jene wieder ans Tageslicht befördert ist, man sofort die Steighöhe und durch diese wieder den Druck an der tiefsten erreichten Stelle erhält. — Das *Siemenssche Bathometer* ist uns schon von früher (S. 35) her bekannt. Da Wasser leichter ist, als dies die meisten die Erdrinde zusammensetzenden mineralischen Stoffe sind, so übt es auch auf einen an der Oberfläche befindlichen Körper eine geringere Anziehung aus, als ein gleiches Volumen Erdreich oder Felsgestein, und zwar wird die Attraktionsverschiedenheit sich um so mehr geltend machen, je tiefer das Wasserbecken gerade unterhalb des Bathometers ist. — Endlich sei noch, soweit die Eruierung von *Mitteltiefen* in frage kommt, auf die *Verbeek*sche Formel (S. 170) verwiesen; kennt man die Geschwindigkeit v, mit welcher eine Erdbebenwelle in einem — als allenthalben gleich tief vorausgesetzten — Meeresbecken sich fortpflanzt, so kann man diese konstante Tiefe, wenn g seine Bedeutung als Beschleunigung der Schwere beibehält, gleich $\frac{v^2}{g}$ setzen. —

Auf die eine oder andere Weise nun hat man alle bekannten Meere auf ihre Tiefenverhältnisse geprüft. Die grösste zur Zeit ermittelte Tiefe fand das amerikanische Explorationsschiff „*Tuscarora*“ in der Südsee auf (44° 55′ n. Br., 151° 26′ ö. L.); diese Tiefe beträgt 8593 m, während der höchste Berg der Erde, der *Gaurisankar*, bis zu einer Höhe von 8840 m ansteigt. Die Maximaltiefen für die südliche Hälfte des Pazifik, für die beiden Hauptteile des Atlantik und für das Indische Meer werden von *Supan*, wie folgt, angegeben:

Südl. Pazifischer Ozean	24° 37′ s. Br.,	175° 0′ w. L. . . .	8101 m
Nördl. Atlantischer „	19° 39′ n. Br.,	66° 26′ w. L. . . .	8341 m
Südl. „ „	0° 11′ s. Br.,	18° 15′ w. L. . . .	7370 m
Indischer Ozean	9° 18′ s. Br.,	105° 28′ ö. L. . . .	5852 m.

Bodenkonfiguration und Bodenbeschaffenheit. Rein äusserlich betrachtet, würde aus dieser Zusammenstellung gefolgert werden können, dass es ebenso bedeutende Einsenkungen unter die

schlusses sich schuldig gemacht, durch welchen *v. Drieberg* dereinst die Möglichkeit des Luftdruckes bestritt: Haut und Knochen müssten durch diesen furchtbaren Druck, der aber ja eben kein einseitiger ist, zerstört werden. *In Wirklichkeit scheint es für tierisches Leben gar keine untere Grenze zu geben.*

normative Geoidfläche [1]) wie Erhebungen über dieselbe gibt, aber bei näherem Einsehen in die Verteilung der Tiefen überzeugt man sich, *dass der Meeresboden eine durchaus andere Konfiguration als die Festlandoberfläche besitzt.* Von jenen *Seegebirgen*, welche nach den an sich ganz geistreichen Konstruktionen *Buaches* die Ozeane unter dem Wasser durchsetzen sollten, ist im allgemeinen gar keine Rede, und es ist, wie *Börsch* bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts aussprach, nur selten und nur über schmale Strassen von junger geologischer Vergangenheit hinweg statthaft, *Gebirgszüge zweier durch ein Meer von einander getrennter Festlandkomplexe als wechselseitige Fortsetzungen zu betrachten.* Wäre es möglich, mit einem Schlage das Wasser sämtlicher Meere zu entfernen, so würde sich dem Auge ein Landschaftsbild darstellen, wie es etwa in einer Hügelgegend des deutschen Nordwestens vorhanden ist. Fast durchweg haben die unterseeischen Erhebungen sanfte Böschungen, und nur in unmittelbarer Nähe der Küste stürzt das Land steiler in die See ab, jedoch auch dort zumeist nicht so steil, wie gemeiniglich angenommen wird. Es ist auch leicht einzusehen, weshalb das Relief des Meeresbodens ein viel weniger scharf markiertes sein muss, als dasjenige der Festlandsoberfläche. Schon früher (S. 98) wurde betont, dass die Erdgebirge, so wie sie infolge des Sedimentationsprozesses gewissermassen aus der Hand der schöpferischen Natur hervorgegangen sind, nach Grösse und Form ganz anders beschaffen gewesen sind, als wir dieselben heute vor uns sehen; jene Kräfte, welche das spätere Modell geschaffen haben, sind, wie Abschnitt XVI im einzelnen ausführen wird, die zerstörenden Einflüsse der Luft, des meteorischen und des fliessenden Wassers gewesen, und eben diese Kräfte können an dem von seinem dichten Wassermantel geschützten Meeresgrunde ihre Thätigkeit nicht ausüben. Wir wollen nicht sagen, dass dort unten absolute Ruhe herrsche, vielmehr greift, wie wir bald sehen werden, der ozeanische Zirkulationsprozess bis in sehr namhafte Tiefen hinab, aber lebhaft sind die dort vor sich gehenden Bewegungsvorgänge in keinem Falle mehr, und dieser geringen Lebhaftigkeit entspricht eben auch das wenig charaktervolle Bodenrelief in der Tiefe des Meeres.

Besonders ausgezeichnet ist durch seine breiten Rücken der Atlantische Ozean, der übrigens durch eine submarine Erhöhung von gekrümmter Gestalt und von auffallend gleichmässiger Tiefe (ungefähr 2000 m) sehr deutlich in eine westliche und eine östliche Abteilung zerlegt wird. Von den in entgegengesetzter, westöstlicher Richtung streichenden Bodenanschwellungen ist die merkwürdigste das zwischen Irland und Britisch-Nordamerika verlaufende *Telegraphenplateau*, welches denn auch in der That zu dem in seinem Namen ausgesprochenen Zwecke benützt worden ist und die Unterlage für die wichtigsten, alte und neue Welt mit einander verbindenden Kabel abgibt.

[1]) Man erinnere sich daran, dass die Niveauflächen der einzelnen Meere zwar nicht ganz, aber doch fast genau unter einander übereinstimmen (S. 44).

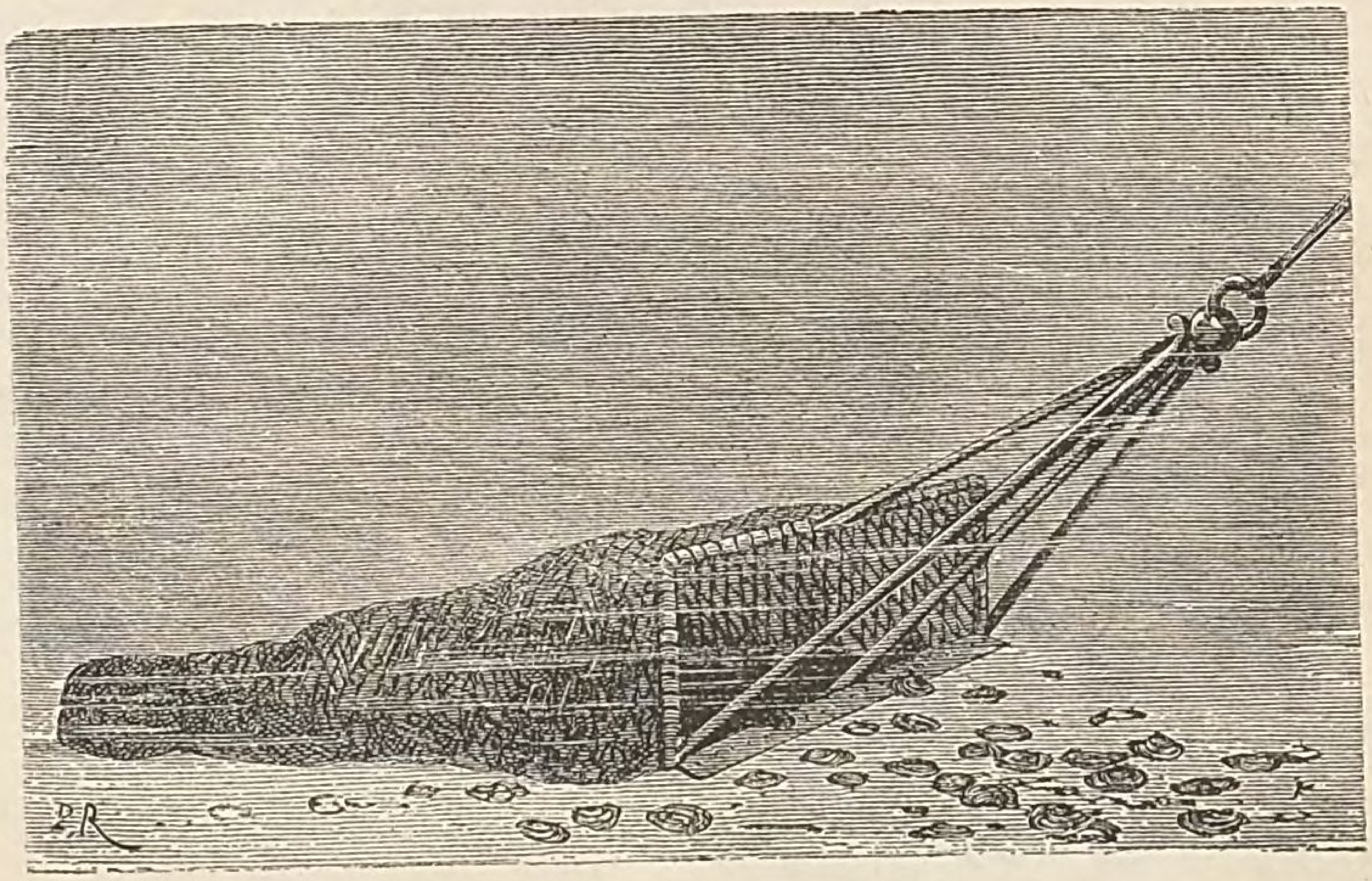
Der geringen Differenziierung der Bodengestalt entspricht vollkommen die Eintönigkeit der Bodenbeschaffenheit; keine Spur von jener geognostischen Mannigfaltigkeit, welche die obersten Lagen der Lithosphäre auszeichnet, ist hier vorhanden. Verhältnismässig die meiste Abwechslung weist natürlich die *Zone der Küstenablagerungen* auf, welche man sich — mehr der Uebereinkunft als einer inneren Notwendigkeit folgend — durch die *Hundertfaden- oder Zweihundertmeterlinie* begrenzt denkt. Zertrümmerte Bestandteile der Küstengebirge bedecken hier den Boden, hie und da in der Gestalt grösserer Felsblöcke, gewöhnlich aber als Schlamm- und Sandablagerungen, welche dann, wenn regelmässiger Seegang und Wellenschlag für Schichtung sorgt, oder wenn an einer Kreuzungsstelle zweier Strömungen besonders gute Gelegenheit zur Anhäufung von Sinkstoffen geboten ist, die vom Seefahrer gefürchteten *Sandbänke* oder *Barren* bilden. Weiter aussen im Meere geht der feinkörnige Sand immer mehr in verschieden gefärbten Schlamm über, und man kann vielfach auch noch jenseits der Küstenzone fein geschlämmte Massen erkennen, deren Ursprung sich geognostisch als ein litoraler nachweisen lässt.

Weiter aussen im Meere wird die Decke des Meeresgrundes eine völlig andere, und zwar ist in der Hauptsache der folgende Gegensatz der massgebende: *innerhalb der Litoralzone herrschen anorganische Stoffe, im eigentlich pelagischen Reviere dagegen herrschen die Ueberreste organischer Wesen vor.* Einen wie beachtenswerten Anteil Pflanzen und Tiere beim Aufbau der Erdrinde gehabt haben, das ist uns schon oben (S. 65, S. 75) bekannt geworden; ähnlichem begegnen wir hier. Es gibt eine Menge kleiner, zu dem Formenkreise der Protozoen gehöriger Tiere, welche mit einem Kiesel- oder Kalkpanzer versehen sind, und ebenso eignet eine solche Hülle auch manchen der untersten Stufe der Pflanzen, den Algen, angehörigen Organismen. Wenn Tier und Pflanze längst dem allgemeinen Vernichtungsprozesse anheimgefallen sind, bleiben die kalkigen Schalen doch noch übrig, und sie sind es, welche in Mengen, für deren Schätzung uns jedes Hilfsmittel fehlt, den Boden der Meere überdecken.

Die Feststellung dieser Thatsache war natürlich nur dadurch möglich geworden, dass man besondere Apparate *zur Aufholung von Grundproben* erdachte und zur Anwendung brachte. Der einfachste und seit alten Zeiten auch verwirklichte Gedanke war der, am Bleilote — resp. an dem Stabs der *Brooke*schen Sonde (S. 275) — eine Aushöhlung anzubringen und diese mit einer weichen, die losen Bestandteile des Grundes in sich aufnehmenden Substanz auszufüllen. Dieses nahe liegende Verfahren hat immerhin manche wichtige Ergebnisse geliefert, aber freilich war die Fläche, welche in jedem einzelnen Falle zur Untersuchung gelangte, nur eine überaus kleine, und es bedurfte sehr zahlreicher Lotungen, wenn man sich über die Natur eines einigermassen ausgedehnten Bezirkes unterrichten wollte. Man verfiel deshalb auf andere Vorrichtungen, mittelst deren ein grösserer Flächenraum auf einmal abgesucht

werden konnte. Man nennt das Arbeiten mit diesen Maschinerien *Dredschen*, begreift aber unter diesem Namen auch das Aufgreifen der kleinen Seetiere [1]) in beliebigen Tiefen mit ein. *Pourtalès, Bache*, die beiden *Agassiz, v. Nordenskiöld*, *H. Meyer* u. a. haben sich um die *Tiefseeforschung* verdient gemacht. Neben den „*Sounding Caps*" der Amerikaner, kleinen, konischen Bechern aus Gusseisen, welche, nachdem sie sich mit Bodenbestandteilen gefüllt hatten, durch einen

Fig. 93.

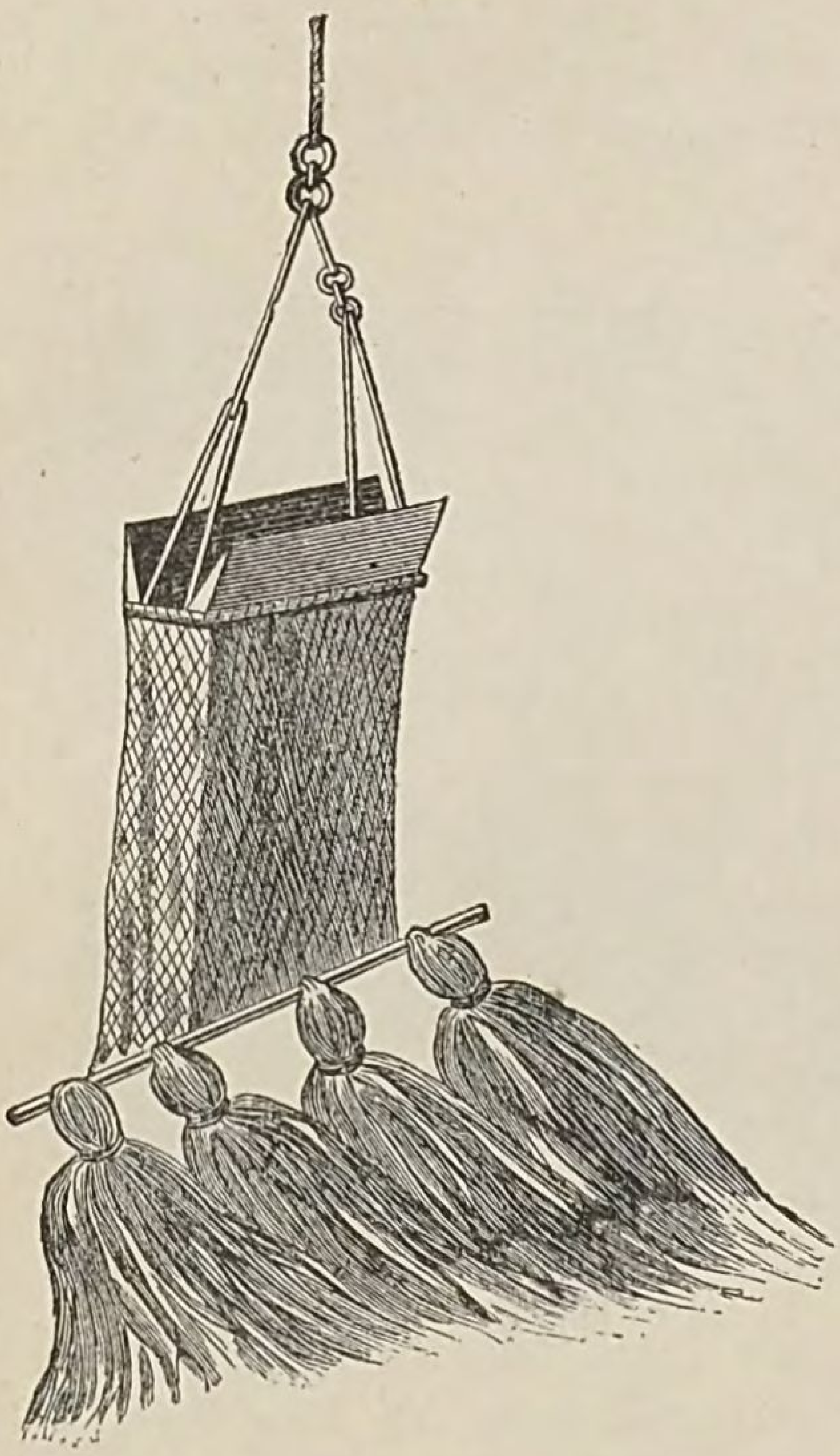


Lederdeckel sich fest verschlossen, und neben der *Bodenkratzmaschine* der schwedisch-norwegischen Polarexpeditionen hat sich hauptsächlich das *Schleppnetz* eingebürgert, welches zuerst von *C. F. Müller* in der durch *Fig. 93* angedeuteten Form ausgeführt wurde, während für grössere Tiefen vom „Challenger" das den Korallenfischereien der indischen Gewässer entlehnte Netz, wie es *Fig. 94* darstellt, sehr zweckmässig befunden worden ist.

[1]) In neuester Zeit hat man neben den makroskopisch wahrnehmbaren Meerestieren insbesondere auch auf jene an sich nicht sichtbaren kleinen Lebewesen das Augenmerk gerichtet, welche den grösseren zur Nahrung dienen und als *Plankton* (wörtlich: das auf den Wogen Umhergeworfene) bezeichnet werden. Der Zoologe *Hensen* hat eine allerdings von *Häckel* bekämpfte Methode vorgeschlagen, das innerhalb eines gegebenen Meerwasservolumens sich aufhaltende Plankton zu zählen, und daraufhin stellte die deutsche Admiralität ihm und dem Ozeanographen *Krümmel* ein Schiff, den „National", zur Verfügung, um im Atlantischen Meere ausgedehnte Planktonforschungen zu unternehmen. Die Resultate dieser Seefahrt sind noch nicht vollständig veröffentlicht worden. Einer einstweiligen Notiz von *Gravelius* entnehmen wir die nachfolgenden Bemerkungen. Auf der Strecke zwischen den Bermudas und den Inseln des Grünen Vorgebirges darf man im Durchschnitt auf ein Wasserprisma von 19 m Bodenfläche und 200 m Tiefe 31 ccm Plankton rechnen. Im Norden des Atlantik steigt die Menge des Planktons auf 2400 ccm an. Auch in noch so bedeutender Tiefe kommen diese Organismen vor, zumal kleine Algen. Die Temperatur erwies sich auffallend einflusslos; die häufigen starken Schwankungen des Planktongehaltes hatten mit den Temperaturschwankungen gar keine Gemeinschaft.

Die Dredscharbeit hat es nun den Tiefseeforschern ermöglicht, festzustellen, dass jenseits des Gürtels der Küstenablagerungen der Hauptsache nach folgende vier Typen der Bodenbeschaffenheit sich unterscheideu lassen:

Fig. 94.



a) *Globigerinenschlamm.* Die Globigerinen gehören zu der weit verbreiteten Gruppe der *Foraminiferen;* ihre Schalen findet man in allen Ozeanen in Tiefen zwischen 400 und etwas über 5000 m vor, während dieselben den unterseeisch durch eine Bodenschwelle abgeschlossenen Meeresbecken fast gänzlich zu fehlen scheinen [1]).

b) *Radiolarienschlamm.* Etwas höher entwickelt als die Globigerinen sind die ihnen im Bau sonst ziemlich ähnlichen Strahlentierchen oder Radiolarien, deren Klasse nach *Häckel* die formenreichste im ganzen Tierreiche ist. Ihr Panzer ist nicht, wie der anderer Wurzelfüsser oder *Rhizopoden* kalkig, sondern kieselig; in einem grossen Teile der Südsee, in den hinterindischen Gewässern und anderwärts bedecken diese Kieselpanzer den Boden in grosser, zwischen 4000 und 8000 m schwankender Tiefe.

c) *Diatomeenschlamm.* Hauptsächlich für den südlichen Teil des Indischen Ozeanes ist die Masse der von den Kieselalgen oder Diatomeen zurückgebliebenen harten Hüllen charakteristisch.

d) *Tiefseethon.* Rote und graublaue Thon- und Mergelschichten finden sich allenthalben in den grossen Meeren, sobald man in grössere Tiefen (etwa über 3700 m) hinabsteigt. Organische Residuen kommen im Tiefseethon nicht mehr in ausschlaggebender Menge vor, während feine, oft nur mikroskopische Mineralfragmente — Quarz, Glimmer, Braunstein, vulkanische Auswürflinge — stets

[1]) Im Globigerinenbelage hatten *Huxley, Häckel, Bessels* u. a. ein organisches Urwesen einfachster Art, den sogenannten *Bathybius*, nachweisen zu können geglaubt. Die weisse, flockige, sich anscheinend spontan bewegende Masse sollte reines Protoplasma sein. Allein später zeigte sich, dass dieser angebliche organische „Urbrei“, wie ihn *Oken* genannt hatte, ein anorganisches Produkt, nämlich Gips sei, der sich aus den in Weingeist aufbewahrten Grundproben abgeschieden hatte. Die Aehnlichkeit solch fein verteilten Gipses mit echter Zellensubstanz ist allerdings eine ganz merkwürdige.

in den Schlamm eingebettet sind. Die submarinen Ausbrüche müssen, den überaus zahlreichen abysischen Bimssteinablagerungen nach zu schliessen, doch wohl viel häufiger sich ereignen, als ihre verhältnismässig geringe Beunruhigung der Wasserfläche (S. 171) dies zunächst wahrscheinlich machen würde. —

Neuerdings hat, wie *v. Gümbel* hervorhebt, das Studium der Grundzusammensetzung zu sehr interessanten Vergleichen mit gewissen Erscheinungen geführt, welche der Erdgeschichte angehören. Wir lernten in dieser (S. 82) den Begriff der Faziesverschiedenheit kennen, welcher synchronen Bildungen den Stempel solcher Heterogeneität aufdrückt, dass erst mühsame Arbeit die thatsächliche Gleichzeitigkeit ausser Zweifel zu setzen vermochte. Indem nun der genannte Gelehrte eine Reihe von Bodenproben analysierte, welche ein deutsches Schiff aus der Nordsee geholt hatte, konzentrierte er seine Wahrnehmungen in dem folgenden, neue Perspektiven eröffnenden Satze: „In den zur Jetztzeit am Grunde der Nordsee sich ablagernden Sedimenten liegt uns ein unzweideutiges Beispiel vor, wie sich *gleichzeitig* in unmittelbarer Nähe auf weite Flächen ausgedehnte sandige Absätze — das Material zu Sandsteinbildungen — neben thonigen und mergelartig zusammengesetzten Niederschlägen, welche sich auf einen schmalen Meeresstrich beschränken, erzeugen können. Beide zeigen auch deutliche und charakteristische Unterschiede in ihren organischen Beimengungen. Auf diese Weise gewinnen wir ein zutreffendes Bild der Entstehungsart der auch bei älteren Sedimentschichten so häufig beobachteten *Faziesbildungen* [1]).

Farbe und Durchsichtigkeit des Meerwassers. Seit *Newton* und *Halley* steht die Frage, *welches die eigentliche Farbe des Wassers* sei, auf der Tagesordnung. Man wird nicht umhin können, die Frage zunächst ganz allgemein zu stellen und erst nachträglich die Unterschiede in betracht zu ziehen, welche durch einen grösseren oder geringeren Salzgehalt bedingt werden. Auch wird natürlich hier davon abgesehen, dass weite Flächen des Meeres durch die Schwemmprodukte der Flüsse [2]), durch eine schwimmende Pflanzendecke [3])

[1]) Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S. M. Knbt. „Drache“ in der Nordsee in den Sommern 1881, 1882 und 1884, Berlin 1886. S. 47.

[2]) So führt das *Gelbe Meer* seinen Namen deshalb, weil bis auf sehr weite Entfernungen von der Küste die ungeheuren gelben Schlammfluten des Hoangho sich bemerkbar machen. Ungleich weniger klar ist die Etymologie des *Roten* und *Schwarzen Meeres*.

[3]) Schon die Alten hatten, wie der „Periplus“ des *Skylax* beweist, einige Kenntnis davon, dass in gewissen Teilen des Atlantischen Meeres sich gewaltige Pflanzenmassen angesammelt haben. *Columbus* fuhr dann durch diese angeblichen *Krautwiesen* quer hindurch und bezeichnete das fragliche Gebiet als *Sargazo*, woraus dann der heutige Name *Sargassomeer* — 17. bis 28. Grad n. Br. — hervorgegangen ist. Man hat mit diesem Worte vielfach etwas abenteuerliche Vorstellungen verbunden, während in Wirklichkeit die Kräuter dortselbst nicht im Meere ihre Heimat haben. *Kuntze* zeigte, dass es von der das grösste Kontingent zum Kräutermeere stellenden *Sargassopflanze* eine selbständige marine Varietät nicht gibt, dass vielmehr lediglich vom Festlande losgelöste Pflanzenstrünke durch Gezeiten und Meeresströmungen fortgeführt werden und schliess-

oder durch die Lichtwirkung tierischer Inwohner [1]) eine durchaus abweichende Färbung erhalten können. *Bunsen* stellte als der erste fest, *dass reines Wasser an sich blau ist*, und durch weitere Untersuchungen von *Beetz*, *Boas*, *Spring* hat sich diese Thatsache durchweg bestätigt gefunden. Die langwelligen Spektralfarben werden im Wasser ausgelöscht. Die Bläue des Wassers bleibt auch erhalten, wenn ein schwacher Zusatz von Fremdkörpern stattfindet, und zwar erweisen sich farblose Salze, wie sie besonders im Meerwasser suspendiert sind, fast völlig neutral. Erst dann, wenn ein Niederschlag sich vorbereitet, tritt eine gelbliche Färbung hervor, welche nachgerade mit dem ursprünglichen Blau alle möglichen Kombinationen eingeht. Der Grundton des auf hoher See beobachteten Wassers wird unter allen Umständen blau sein, wie man sich überzeugt, wenn man eine ausreichend dicke Schicht in ein von planparallelen Glasplatten eingeschlossenes Gefäss gibt und erstere dann im durchscheinenden Lichte betrachtet.

Die *Durchsichtigkeit* oder *Diaphanität* des Meerwassers sucht man mittelst sogenannter *Versenkungsscheiben* zu prüfen: mit weissem Papier überzogene Tafeln werden langsam in das Meer versenkt, und die Tiefe, bei welcher eine solche Tafel dem Auge gerade entschwindet, gibt offenbar ein Mass für die Durchlässigkeit des Wassers gegenüber den Lichtstrahlen. Seit 1817, wo *v. Kotzebue* und *v. Krusenstern* anlässlich der zweiten russischen Erdumseglung solche Untersuchungen vornahmen, hat sich allmählich ein ziemlich reichhaltiges Material ergeben, dessen kritische Sichtung sich *Krümmel* hat angelegen sein lassen. Die Durchsichtigkeitsgrenze liegt in den einzelnen Meeren durchaus nicht in der nämlichen Tiefe, beim Adriatischen Meere z. B. 54 m unter dem Wasserspiegel. Doch darf

lich im Inneren des von letzteren gebildeten Wirbels in relativer Ruhe verharren. Die aus *Fig. 95* zu ersehenden beerenartigen Schwimmblasen des Sargassums begünstigen den geschilderten Prozess, zu dem sich übrigens auch in anderen Meeren Seitenstücke nachweisen lassen.

Fig. 95.



[1]) Das sogenannte *Meeresleuchten*, auf welches wir oben anspielten, wurde ehedem ganz allgemein für eine anorganische Erscheinung gehalten, und sogar *J. R. Forster* und *A. v. Humboldt*, welche dasselbe auf die Aktion kleiner Tiere zurückführten, hielten doch dafür, dass daneben noch eine gewisse Elektrizitätsentwicklung mitwirke. Gegenwärtig weiss man dagegen folgendes mit Sicherheit: *Zahlreiche Seetiere* — Krustazeen, Würmer, Seesterne, Medusen, Polypen und die eigentlichen Leuchtinfusorien — *reagieren auf jeden von aussen her auf ihren Körper ausgeübten Reiz durch ein eigenartig phosphoreszierendes Licht.* Nun versteht man, warum häufig ein Ruderschlag ganze Garben von Feuerfunken hervorbringt. Eine eigentümliche Steigerung des gewöhnlichen Meeresleuchtens ist die *Milchsee*; alsdann gewinnt das Meer das Ansehen einer flimmernden Schneedecke.

man nicht glauben, dass das Licht nicht doch noch in weit grössere Tiefen einzudringen vermöge; nur freilich gilt dies durchaus nicht von den gering brechbaren, sondern einzig von den violetten und von den chemisch wirksamen Strahlen.

Wilds Diaphanitätsmessungen haben ergeben, dass die Durchsichtigkeit des Wassers durch beigemengte Festkörper beträchtlich herabgesetzt wird. Mit wachsender Temperatur scheint, wie nach *Wild* auch *v. Boguslawski* vermutete, auch der Grad der Durchsichtigkeit abzunehmen. Wahrscheinlich aus diesem Grunde ist der Golfstrom (s. u.) intensiver blau und zugleich minder durchsichtig, als das benachbarte, im Ruhezustande befindliche Wasser.

Chemische Zusammensetzung und Dichte des Meerwassers. Die chemische Beschaffenheit des Meerwassers ist, soweit die beiden Hauptbestandteile, *Wasserstoff* und *Sauerstoff*, in betracht kommen, vor derjenigen des süssen Wassers nicht verschieden. Aber der blosse *Geschmack* lehrt uns, dass doch eine tiefer gehende Verschiedenheit zwischen beiden obwalten müsse, was denn auch in der That der Fall ist. Das Wasser sämtlicher Meere enthält, freilich in nichts weniger denn konstanten Mengen *Salze*, und zwar sind es zunächst drei Salzarten, die allenthalben wiederkehren, nämlich *Chlornatrium* (Kochsalz), *Chlormagnesium* und *schwefelsaure Magnesia* (Bittersalz). Damit aber ist die Reihe der dem Meerwasser beigemengten Stoffe keineswegs abgeschlossen, vielmehr vermochte gerade die Hälfte aller bis jetzt bekannten chemischen Elemente nachgewiesen zu werden. Selbst die Edelmetalle fehlen dabei nicht; der Silbergehalt der sämtlichen Ozeane würde sogar nach *Malaguti* und *Durocher* eine sehr stattliche Summe darstellen. *Forchhammers* zahlreiche Analysen liessen erkennen, dass in je 1000 Volumteilen Meerwasser die nachstehend verzeichneten Raumteile anderweiter Stoffe (im Durchschnitt) enthalten sind: Kochsalz 26,862; Chlormagnesium 3,239; Bittersalz 2,196; Gips 1,350; Chlorkalium 0,582; Verschiedenartiges 0,071, so dass mithin für reines Wasser noch 965,7 Teile übrig bleiben.

Die Salzteile kann man dem Meerwasser teils — in weit unvollkommenerer Weise — durch *Filtrieren*, teils auch durch *Destillieren* entziehen, so dass also auch ersteres jederzeit in gesundes, wiewohl gerade nicht sehr schmackhaftes Trinkwasser übergeführt werden kann. Vertreibt man andererseits die wässrigen Bestandteile, ohne sie durch Abkühlung wiederum zu kondensieren, so bleibt nur eine Salzschicht übrig. In dieser Weise hat die Natur die Entstehung *der grossen Salzlager* bewirkt[1]); in ebendenselben ver-

[1]) *Uziglios* Experimente haben darüber Klarheit verbreitet, in welcher Reihenfolge die einzelnen im Meerwasser enthaltenen chemischen Verbindungen sich beim Verdampfen ausscheiden, und da gewährt es grosses Interesse, unter ebendiesem Gesichtspunkte die Sedimentärbildungen grosser Salzlager zu betrachten. Die komplizierten Lagerungsverhältnisse im Becken von *Stassfurt* (bei Magdeburg, S. 174) hat *Pfeiffer* aufzuklären gesucht. Nachdem der Hohlraum in Konsequenz der grossen Faltungen der Erdrinde entstanden, hätten

schaffen sich viele Küstenbewohner das ihnen unentbehrliche Gewürz künstlich [1]).

Seichte Mittel- und Randmeere zeichnen sich durch einen sehr geringen Salzgehalt aus; während derselbe in der Nordsee ungefähr 3 ½ % ausmacht, sinkt er im Skagerrack schon auf 3 %, im Kattegat auf 2 % herab, und der Sund bei Helsingör weist nur noch 0,925 % auf, während dieser Prozentsatz in der Nähe von Travemünde wieder bis 2 ¼ ansteigt. Als generelle Regeln kann man mit *v. Boguslawski* diese aufstellen:

Der Salzgehalt des Meeres pflegt von der offenen See aus nach den — von den Flüssen unaufhörlich mit Süsswasser versorgten — Küsten hin abzunehmen. Der Gehalt an Salz ist am grössten in den beiden Passatzonen, am kleinsten in der äquatorialen Kalmenregion (*S.* 266) *und nimmt, vereinzelte Ausnahmen abgerechnet, von den höheren Breiten bis in die Mitte der Passatgürtel ab.*

Auch *Luft* und *Kohlensäure* enthält das Meerwasser als absorbierte Bestandteile in sich, und durch die Untersuchungen von *Jacobsen* hat man in Erfahrung gebracht, dass jene Meerluft mit der Atmosphäre hinsichtlich ihrer Zusammensetzung keineswegs übereinstimmt. Die Gesamtsumme von Sauer- und Stickstoff ist in bedeutender Tiefe grösser als in den oberflächlichen Schichten. *Tornöe*, der auf der von *Jacobsen* gelegten Basis weiterbaute, hat gefunden, dass in einem Liter Meerwasser im Mittel 53 Milligramm Karbonate und 43 Milligramm Bikarbonate sich vorfinden [2]).

Vom Salzgehalte ist auch das *spezifische Gewicht* des Meerwassers abhängig. Noch vor nicht sehr langer Zeit hatte man

sich seine Wände zuvörderst mit Anhydrit ausgekleidet; später hätten sich Koch- und Bittersalz niedergeschlagen, und in den obersten Schichten endlich habe über das Chlornatrium der *Karnallit* die Oberhand behalten, ein trocken glänzendes, aus Chlormagnesium, Chlorkalium und Wasser bestehendes Mineral, aus dem sich das technisch wichtige Kalisalz gewinnen lässt. Indem dann die Deckschicht barst und Tagewasser zum Karnallit durchdrang, sei dieser zum einen Teile in Hartsalz, zum anderen in sogenannten *Kainit* verwandelt worden, welch letzterer aus Chlorkalium und schwefelsaurer Magnesia besteht.

[1]) Die Gewinnung des Seesalzes erfolgt mehrenteils in der Weise, dass man in den dem Meeresrande benachbarten, bei hoher Flut von den Wogen überschwemmten Fels flache Pfannen — *Marinhas, Marais salants, Salzgärten* — einhaut und nun abwartet, bis dieselben sich gefüllt und bis die heissen Sonnenstrahlen das Verdampfungswerk vollendet haben. Bei der heutigen Ausbildung des Bergbaues und der Verkehrsmittel kommt dem doch etwas unschmackhafteren Seesalze lange nicht mehr die Bedeutung zu, wie ehedem, doch ist dessen Produktion manchenorts noch immer sehr lohnend (Salinen von *Setubal* bei Lissabon).

[2]) Doch würde man, nach *Jacobsen*, irre gehen, wenn man sich vorstellen wollte, dass die Kohlensäure in ähnlicher Weise wie Sauer- und Stickstoff, d. h. als freies Gas, vom Meerwasser absorbiert würde. Es ist ein eigenartiger, sonst nicht leicht vorkommender Zustand der Gebundenheit, welcher bewirkt, dass selbst stundenlanges Kochen sie nur unvollständig austreibt. Gerade dieser Zwischenzustand, welcher einerseits verhindert, dass die Seetiere ununterbrochen Kohlensäure mit einatmen, der aber andererseits diesen Stoff der marinen Pflanzenwelt bis zu einem gewissen Grade zugänglich macht, dürfte, wie *Jacobsen* betont, für das organische Leben der Tiefsee von noch erst zu würdigender Bedeutung sein.

eine wohlbekannte Eigenschaft des süssen Wassers ohne Bedenken auch auf Salzwasser übertragen und gemutmasst, dass auch letzteres seinen *höchsten Konzentrationsgrad* bei + 4° des hundertteiligen Thermometers erreiche. Durch *L. Weber*, *Rosetti*, *Exner* und *Zöppritz* ist diese willkürliche Hypothese beseitigt worden, und insbesondere hat der letztgenannte Geophysiker den wirklichen Sachverhalt in nachstehender These präzisiert: *Im ruhigen Meere nimmt dessen Wasser bis zu seinem Gefrierpunkte an Dichte zu, und wenn trotzdem in Ausnahmefällen mit wachsendem Drucke eine Zunahme der Temperatur hand in hand geht, so ist an Einwirkungen von aussen zu denken.*

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes dient die wahrscheinlich bereits dem *Archimedes* bekannt gewesene *Senkwage* (das *Aräometer*), deren erste urkundliche Erwähnung sich jedoch erst im IV. nachchristlichen Jahrhundert bei *Synesius* findet. Ein fester Körper taucht in einer Flüssigkeit umso weniger tief unter, je schwerer letztere ist. Dabei aber muss auch noch die Temperatur in Rechnung gezogen werden, und zwar ist man in Deutschland übereingekommen, alle Angaben für eine *Normaltemperatur* von 17,5° umzurechnen. Aus den Tafeln von *Rosetti*, *Ekman*, *Dittmar* und *Tornöe* kann man ersehen, wie ein gegebenes Wasservolumen, wenn die Temperatur eine andere wird, sich selbst verändert. V_t sei dieses Volumen bei der Temperatur t; dann kann V_t ausreichend genau als eine rationale, quadratische Funktion des Salzgehaltes so angesehen und, wenn α, β, γ gewisse Konstante bedeuten, gleich $(\alpha + \beta p + \gamma p^2)$ gesetzt werden. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate fand *Krümmel* so für den Salzgehalt p die Gleichung:

$$V_{17,5} = 1125 + 47,146 p - 0,1495 p^2.$$

Um den Salzgehalt zu finden, reduziert man das am Aräometer abgelesene spezifische Gewicht auf die Normaltemperatur [1]) und findet dann einer von *Karsten* und *H. Meyer* entwickelten Formel gemäss, unter δ wieder eine Konstante verstanden,

$$p = \delta \left[S \left(\frac{17,5}{17,5} \right) - 1 \right].$$

Bei den genannten beiden Ozeanographen ist $\delta = 1310$, bei *Tornöe* dagegen ist $\delta = 1319$.

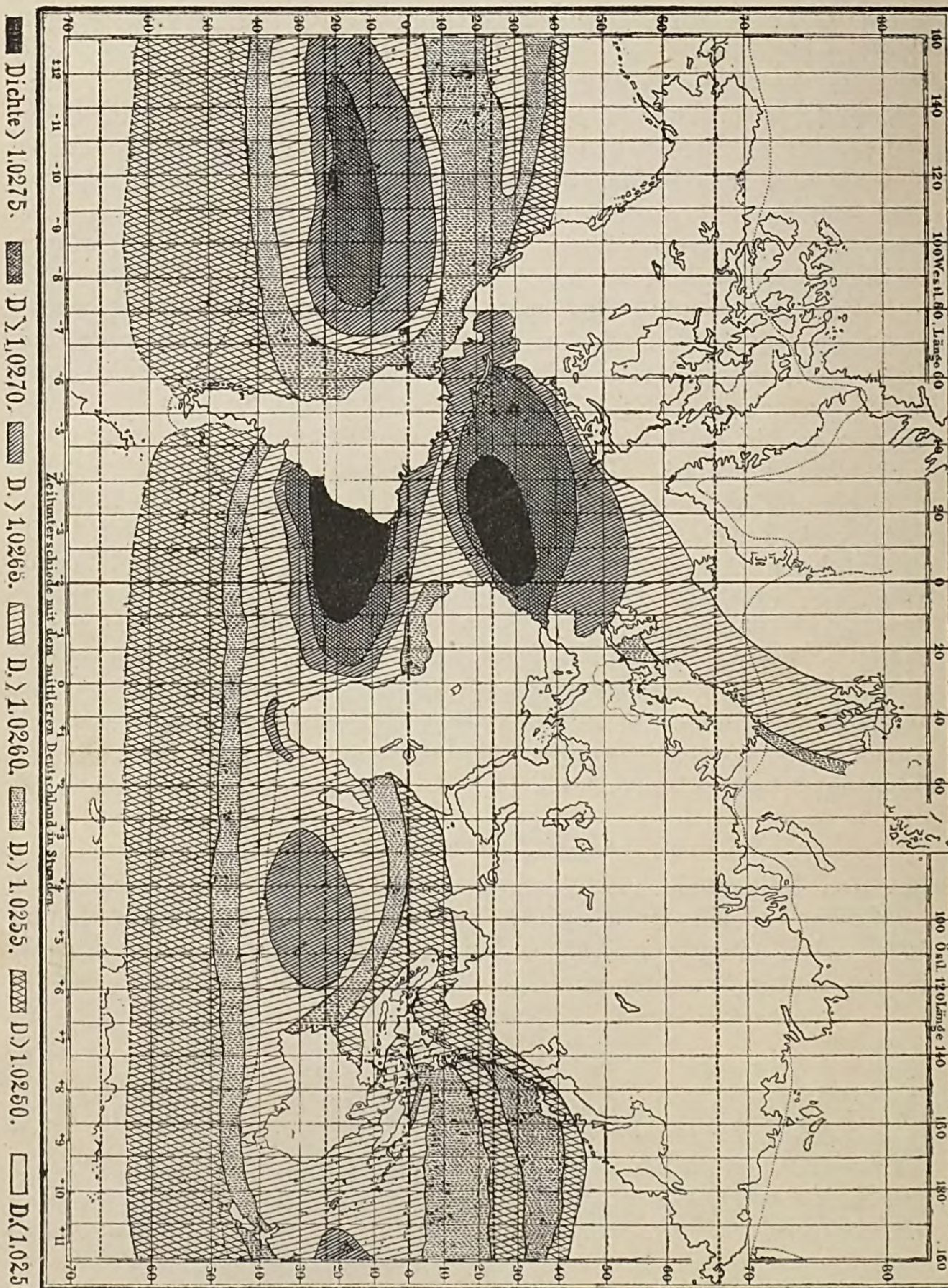
Eine sehr gute kartographische Darstellung der Dichteschwankungen im Meere verdankt man *Buchanan*; vgl. unsere Reproduktion derselben in *Fig. 95.* Wenn wir die wichtigsten Züge dieser

[1]) Um anzudeuten, dass man das spezifische Gewicht, das bei der Temperatur t bestimmt worden war, der normalen zu adaptieren gesonnen sei, setzt man den Buchstaben S vor einen in Parenthese stehenden Bruch, dessen Zähler die ursprüngliche Temperatur, dessen Nenner die normale einnimmt. Man geht also von

$$S \left(\frac{t}{17,0} \right) \text{ zu } S \left(\frac{17,5}{17,5} \right)$$

über.

Fig. 96.



Karte in Worten wiedergeben und zugleich, soweit es auf die Indischen Meere ankommt, *Liebschers* Verbesserung der *Buchanan*schen Zahlen berücksichtigen, so dürfen wir sagen:

Für den Atlantik sind zwei Gebiete von der relativen Maximaldichte 1,0275 charakteristisch, deren eines ein geschlossenes Oval,

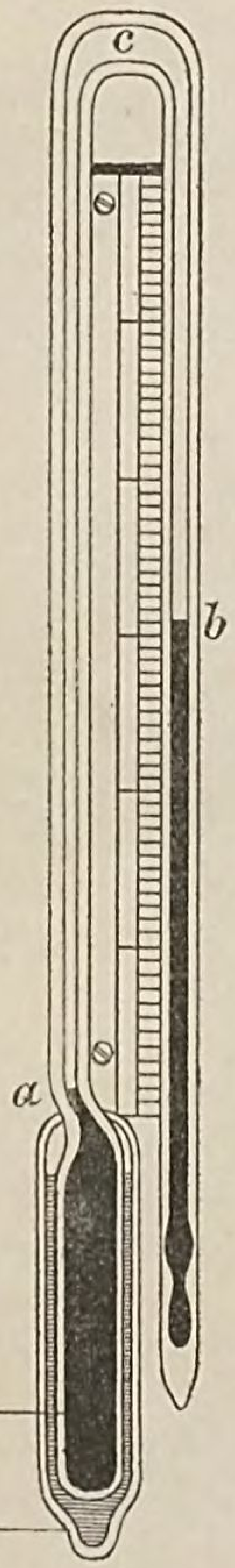
durchsetzt vom nördlichen Wendekreise, bildet, während das andere von der brasilianischen Küste aus als eine Halbellipse nach Osten vorspringt. Im Pazifik breitet sich ein geschlossenes Areal von der Maximaldichte 1,0270 zwischen dem 100. und 150. Meridiane w. L. und zwischen dem 10. und 25. Parallelkreise s. Br. aus. Am wenigsten klar liegen die Dinge in dem nur einseitig geöffneten Indischen Ozeane, innerhalb dessen die Dichte, wie im Atlantik, bis zu 1,0275 ansteigt.

Die Wärmeverhältnisse der Meere. Als man noch die oben gekennzeichnete irrige Anschauung von dem absolut gleichen Verhalten des süssen und salzigen Wassers hegte, konstruierte man sich die *ozeanische Wärmeverteilung* schematisch in folgender Weise: In den Meeren, die zwischen ± 56° geogr. Breite eingeschlossen sind, nimmt die Wärme so lange ab, bis das Thermometer auf 4° zeigt, und von dieser Isothermfläche aus nach unten zu ändert sich die Temperatur nicht mehr: in der Gegend des 56. Parallels ist die Vertikalverteilung der Temperatur eine so gut wie gleichmässige, und in den Polarzonen erhöht sich die Wärme sogar mit zunehmender Tiefe. Ausgedehnte praktische Erfahrungen sowohl wie auch der Fortschritt in der theoretischen Erkenntnis haben dieses Phantasiebild vernichtet, und man weiss jetzt, dass nur durch zahlreiche Einzelmessungen, sowie durch Verbesserung der Methoden der *submarinen Thermometrie* eine richtige Einsicht in die ozeanischen Wärmeverhältnisse zu gewinnen ist. In den letzten Jahrzehnten wurde es allmählich möglich, die *Isothermobathen*, wie sich *Wyville Thomsen* ausdrückt, mit leidlicher Genauigkeit in die Seekarten eintragen zu können.

Die Temperaturmessungen unter Wasser geschehen, solange es sich um mässigere Tiefen handelt, vielfach nur mit einem *trägen Thermometer* nach *H. A. Meyer*s Konstruktion. Die Thermometerkugel und ein grosser Teil der Röhre stecken so dicht in einem Kautschukmantel, dass es sehr lange dauert, bis durch die schlecht leitende Umhüllung hindurch die Wärme der Oertlichkeit, an welche man das Instrument gebracht hat, zum Quecksilber selbst durchgedrungen ist und dasselbe auf den richtigen Stand gebracht hat. Das Manipulieren mit einem solchen Thermometer erfordert sonach viele Zeit, aber es bietet andererseits die Gewähr, dass durch das Aufholen, bei welchem folgeweise sehr verschieden temperierte Schichten durchmessen werden müssen, keine Aenderung des einmal erreichten Thermometerstandes bedingt wird. Weit kürzer gestaltet sich das Verfahren bei Anwendung des *Registrierthermographen* von *Casella-Miller*, dessen Prinzip mit demjenigen des Maximum- und Minimumthermometers nachgebildet ist. Auch die *Photographie* hat *Neumayer* für die selbstthätige Notierung unterseeischer Temperaturen nutzbar zu machen gewusst. Gegenüber der Röhre, die mit den übrigen sofort zu beschreibenden Teilen des Apparates in einem abgeschlossenen Kasten sich befindet, befindet sich ein mit photographischem Papier umwickelter Zylinder,

dessen Achse zu jener der Röhre parallel ist, und der mittelst eines Uhrwerkes in einer bestimmten Zeit einmal seine Achsendrehung macht. In dem Augenblicke, der für die Messung ausersehen ist, schliesst der an der Oberfläche befindliche Beobachter einen elektrischen Strom, der innerhalb des Kastens durch eine *Geissler*sche Röhre hindurchzugehen hat, welche so liegt, dass zwischen ihr und der Abbildungstrommel gerade das Thermometer sich befindet. Der flüchtige, so entstehende Lichtblitz reicht hin, um jene Hälfte der Zylinderwandung, welche gerade den Elektroden zugekehrt war, chemisch zu affizieren, und es bleibt nur ein schmales Rechteck ohne Veränderung, dasjenige nämlich, welches dem für das Licht unzugänglichen Quecksilberzylinder entspricht. Die Höhe des erwähnten Rechteckes ist mithin zugleich die momentane Standhöhe des Thermometers [1]). Endlich ist auch des automatischen *Metallthermometers* von *Richardson* zu gedenken, zu welchem das bekannte Registrierthermometer von *Sendner* ein Analogon darstellt.

Fig. 97.



Für Bestimmungen, an welche ein strenger Masstab angelegt werden soll, wird jetzt so gut wie ausschliesslich das *Umkehrthermometer* von *Negretti-Zambra* verwendet. Die nach oben zu *U*-förmig gebogene Thermometerröhre hat bei *a* (*Fig. 97*) eine Verengerung, während sie oben bei *c* sich wieder langsam erweitert. Man versenkt den Apparat, der, um dem starken Wasserdrucke (S. 275) zu begegnen, selbst wieder in eine Quecksilber gefüllte Glasröhre *e* eingesetzt wird, im normalen Zustande, bei welchem die gesamte thermometrische Quecksilbermenge sich im Inneren der zylindrischen Kapsel *d* befindet. Nun sei, wie das zugleich mit eingesenkte Lot ausweist, die Tiefe erreicht, deren Temperaturverhältnisse man zu studieren beabsichtigt; alsdann, d. h., wenn die zur Anpassung an die Umgebung erforderliche Zeit vorüber ist, zieht der Beobachter das Instrument in die Höhe, und die erste Bewegung, welche er zu diesem Zwecke macht, hat zur gleichzeitigen Folge, dass das Thermometer sich um eine horizontale Achse dreht, und bei dem hiedurch entstehenden plötzlichen Rucke reisst der Quecksilberfaden bei *a* ab; der im engeren Rohrteile befindliche Bestandteil des flüssigen Metalles fliesst nach dem anderen Schenkel hinüber, wo jetzt *b* den höchsten Punkt des abgerissenen

[1]) Vorausgesetzt, dass nicht das elektrische Licht von einer das Thermometer selbst beeinflussenden Wärmeentwicklung begleitet ist, was allerdings *Gintl* für möglich hält, darf die Temperatur im Inneren des Kastens nach einigen Minuten als eine völlig mit der Aussentemperatur übereinstimmende gelten.

Schenkels anzeigt. Das einzige Bedenken gegen diese sinnreiche Selbstregistrierung besteht darin, dass starkes Schaukeln des Schiffes das Umklappen des Thermometers auch dann zuwegebringen kann, wenn ein solches ausser der Berechnung liegt; *J. Wolf* und *Luksch*, zwei bei der hydrographischen Untersuchung der Adria mit allen einschlägigen Vorkommnissen sehr vertraut gewordene Forscher, erteilen deshalb den Rat, neben dem *Negretti-Zambra*schen immer auch zur Kontrolle ein *Casella-Miller*sches Thermometer anzuwenden, um vor unliebsamen Täuschungen gesichert zu sein.

Von den mannigfaltigen und überaus zahlreichen Ergebnissen, welche die Reisen der Explorationsschiffe — „Novara" (österreichisch), „Challenger" (englisch), „Tuscarora" (amerikanisch), „Gazelle" (deutsch), „Travailleur" und „Talisman" (französisch), „Vöringen" (Norwegen), um nur einige der am meisten verdienten zu nennen — uns verschafft haben, kann an dieser Stelle selbstredend nur ganz im allgemeinen Bericht erstattet werden. Die Temperatur im Meere nimmt durchweg von der Oberfläche gegen den Grund hin ab, im Anfange rascher, dann langsamer [1]) und in grösseren Tiefen wieder etwas schneller. Die Bodengewässer haben unter den Tropen eine durchschnittliche Temperatur von + 2°, wogegen sie in der Polarregion meist überkältet und bis zu — 3° abgekühlt sind [2]). In je freierer Verbindung ein Ozean mit einem der beiden Polarmeere steht, umso kälter sind seine Tiefenschichten, wie dies hauptsächlich beim Indischen und Pazifischen Ozeane gegenüber dem Atlantischen der Fall ist, welche durch ein weites Thor [3]) mit dem Antarktischen Meere in Kontakt erhalten werden. Ueberhaupt scheinen polare Tiefenströmungen in weit ausgedehnterem Masse, als man früher glaubte, die abyssische Temperaturdepression zu bewirken. Diese Strömungen, auf welche wir im nächsten Abschnitte unser Augenmerk noch besonders richten werden, tragen nach *Krümmel* hauptsächlich daran die Schuld, dass in bedeutender Tiefe das Wasser am Aequator mitunter kälter befunden wird — und zwar um zwei bis vier Grad —, als unter gemässigten Breiten. Aus gleicher Ursache wohl ist das Meer an den Westküsten von

[1]) Am geringsten ist der thermometrische Vertikalgradient (S. 242) zwischen 700 und 1100 m Tiefe.

[2]) Neuere Studien von *Murray* haben dargethan, dass im südlichen Eismeere die vertikale Wärmeverteilung stellenweise eine ganz ungewöhnliche ist. Innerhalb eines keilförmigen Distriktes, der sich durch zwölf Breitengrade hinzieht, liegen nämlich die Verhältnisse so, dass eine Schicht sehr kalten Wassers zwischen je zwei der Oberfläche und dem Grunde näher gelegenen Schichten von höherer Temperatur eingebettet erscheint.

[3]) Zur bequemeren Kennzeichnung kann man sich der von *Krümmel* resp. von *Zöppritz* eingeführten und wohl an sich einleuchtenden Ausdrücke *Zugangsbreite*, *Zugangstiefe* und *Zugangsquerschnitt* bedienen. Wenn Zugangsbreite und Zugangstiefe beide relativ gross sind, dann ist die Kommunikation der polaren mit den mehr äquatorialen Wassermassen eine ungehinderte. Umgekehrt: Ein Seehafen wird um so geeigneter sein, Schiffen von grossem Tiefgange die gewünschte sichere Zufluchtstätte zu gewähren, je grösser bei verhältnismässig kleiner Zugangsbreite dessen Zugangstiefe ist; der Zugangsquerschnitt als solcher kann in diesem Falle kein Kriterium abgeben.

Afrika und Südamerika verhältnismässig kühl, während die warmen Gewässer eine Neigung bekunden, sich in dem westlichen Teile der Hauptmeere anzuhäufen.

Von namhaftem Einflusse ist fernerhin die Bodengestalt eines Meeresbeckens. *Sobald Bodenschwellen die tiefer gelegenen Wasserschichten vom Verkehre mit benachbarten freien Meeren absperren, herrscht in Mittel- und Randmeeren abwärts von der jener Erhebung entsprechenden Niveaufläche eine angenähert konstante Temperatur.* Dies tritt recht augenfällig beim Mittelländischen Meere hervor, das nur durch die ziemlich seichte Gibraltarstrasse mit dem Atlantik kommuniziert, sowie auch bei den hinterindischen Archipelen, deren Zufuhrwege durchaus schmal und von geringer Tiefe sind. Andererseits wird die Oberflächentemperatur sich immer bis zu einem gewissen Grade nach der Beschaffenheit der Ufer richten. Wenn diese steile Felsufer sind, von welchen die ohnehin unter grossen Einfallswinkeln auftreffenden Wärmestrahlen mit nur minimaler Schwächung zurückgeworfen werden, so steigert sich die Temperatur der höheren Schichten ins ausserordentliche. Im Roten Meere (S. 260) sind 32^0, im Persischen Golfe sind sogar $35\frac{1}{2}^0$ gemessen worden.

Wesentlich verändert werden alle diese Verhältnisse, die sich zunächst auf das *strömungslose Meer* bezogen, dann, wenn eine Meeresströmung von ausgesprochenem thermischem Charakter auch auf die Wärmeverteilung in den höheren Schichten einwirkt. Hievon aber zu sprechen, soll die Aufgabe des nächsten Abschnittes sein.

Das Eis des Meeres. In den polaren und subpolaren Meeren werden regelmässig *schwimmende Eismassen* angetroffen. Dieselben sind jedoch keineswegs von gleichem Ursprunge, vielmehr sind nach diesem und überhaupt nach den physikalischen Eigenschaften drei verschiedene Gattungen des im Meere treibenden Eises zu unterscheiden.

a) *Süsswassereis.* Die ins Polarmeer mündenden Flüsse und Bäche führen Tafeln von Süsswassereis mit sich, das man an seiner Helligkeit, an seinem krystallinischen Gefüge, an seiner Sprödigkeit und Zerbrechlichkeit leicht erkennt. *Quantitativ* verschwindet allerdings diese meist nur in der Küstenzone zu findende Eisgattung neben den beiden anderen Kategorien.

b) *Gletschereis.* Wenn die gewaltigen Gletscher bis unmittelbar an die Küste herangerückt sind, so lösen sich Stücke von ihnen los und werden, da das Gletschereis eine geringere Dichte als das Salzwasser besitzt, als *schwimmende Eisberge* fortgeführt. Der Prozess der Lostrennung ist jedoch, den Beobachtungen *v. Nordenskiöld*s zufolge, kein einheitlicher. Bei Steilufern geschieht es wohl, dass die Gletscherzunge kraft der ihr eigentümlichen, in Abschnitt XV näher zu schildernden Bewegung sich bis über den Rand der jäh abfallenden Berge hinaus vorschiebt, bis endlich die Schwerkraft über die ohnehin gegen Zug wenig widerstandsfähige Kohäsion den Sieg davonträgt und ein Abbrechen des frei herausstehenden Teiles,

ein *Kalben des Gletschers*, wie die Seeleute sagen, zuwege bringt. Gewöhnlicher jedoch ist die andere Entstehungsweise. In den zahlreichen tief ins Land einschneidenden Meerbusen (Fjords) dringt der Gletscher langsam in das Wasser ein, und zwar schiebt sich dessen Zunge soweit vor, bis der *hydrostatische Auftrieb* das Abbrechen des vordersten Stückes bewirkt. Beidemale also ist die Richtung der die Trennung einleitenden Bewegung eine vertikale, nur geht letztere im einen Falle von oben nach unten, im anderen von unten nach oben vor sich. Alsdann schwimmen die Trümmer fort, die zunächst meistens ein ziemlich gleichförmiges Ansehen — dasjenige parallelepipedischer Massen [1]) — besitzen, bis dann allmählich die rastlos thätigen zerstörenden Kräfte die Eisblöcke in die sonderbarsten, bizarrsten Formen bringen. Wohl am meisten macht sich unter diesen Agentien die Ausdehnung des gefrierenden Süsswassers geltend, welches in zahllosen Drusen und Hohlräume eingeschlossen ist und sich, sobald die Temperatur unter 4^0 herabsinkt, geradezu als explosiver Faktor bethätigt [2]). Den vom Pole ausgehenden Meeresströmungen folgend, treiben die Eisberge, dies Wort im engeren Sinne genommen, bis in weit niedrigere Breiten herab, bis endlich die erhöhte Luft- und Wassertemperatur ihrem Dasein ein Ende macht [3]). Oft treibt auch ein solcher Klotz am Lande an und wird an diesem fest; man sagt dann, er sei *gestrandet;* solche gestrandete Eisberge geben die beste Gelegenheit, den Fortschritt der Vernichtung und die Herausmodellierung immer abenteuerlicherer Gestalten zu verfolgen (vgl. den in *Fig. 98* dargestellten *Pinnakelberg*, der von *Kane*s Nordpolexpedition diesen Namen erhielt). Im allgemeinen ist Anzahl und Grösse der Eisberge im Antarktischen Meere grösser, als im Arktischen.

[1]) Unter der Annahme, dass man es mit einem rechtwinkligen Parallelepipedum zu thun habe, das bis zur Höhe a aus dem Seewasser (spezifisches Gewicht σ_2) emporragt, kann man leicht berechnen, bis zu welcher Tiefe x diese Eismasse (spezifisches Gewicht σ_1) eingesunken ist. Nach dem Satze des *Archimedes* nämlich verdrängt jeder schwimmende Körper soviel Flüssigkeit, dass das Gewicht letzterer seinem eigenen Gewichte gleich ist; bezeichnet man also mit F die Grundfläche des Parallelepipedums, so gelten die Gleichungen:

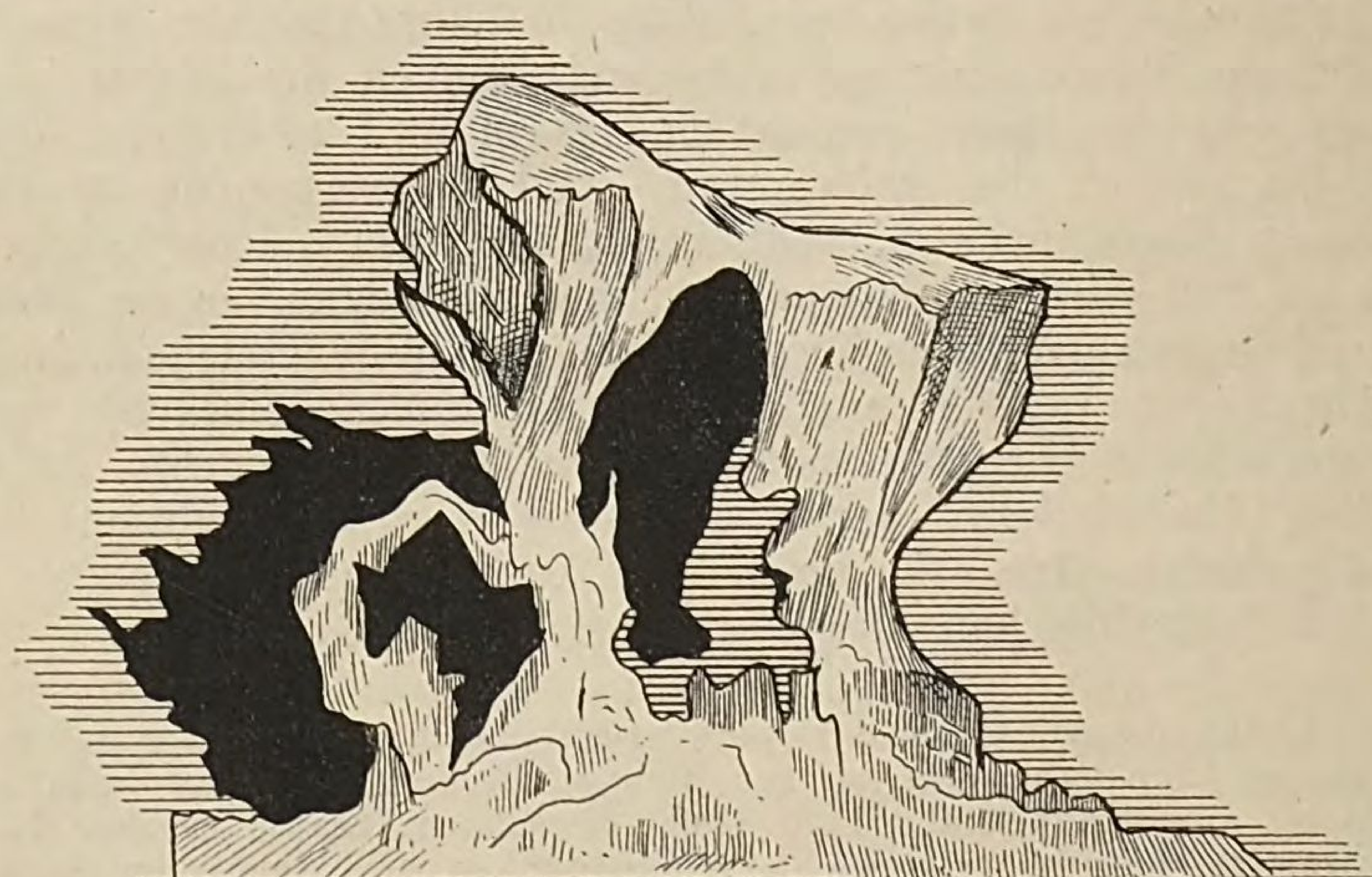
$$x F \sigma_2 = (a + x) F \sigma_1 ; \; x = \frac{a \sigma_1}{\sigma_2 - \sigma_1}.$$

[2]) Durch zahlreiche Versuche, insbesondere durch diejenigen *Hagenbach*s, ist ermittelt, dass Süsswasser, wenn man es in Kugeln von Eisen und von beliebig dicker Wandung einfüllt, wenn man dann nachher die Eingussöffnung hermetisch verschliesst und das Ganze der Kälte aussetzt, die Hüllen unfehlbar auseinandersprengt und aus den gerissenen Spalten in ganz sonderbaren Eisgestalten hervordringt.

[3]) Jene Linie, über welche die Eisberge nicht hinausgehen, also die *äquatoriale Treibeisgrenze*, ist natürlich ebensowenig eine absolut stabile, wie etwa die Aequatorgrenze des Schneefalles (S. 256). Im westlichen Teile des Atlantik findet man oft noch Eisberge auf dem gewöhnlichen Kurse der zwischen Europa und Nordamerika verkehrenden Dampfbote; auch lässt sich neuerdings die Ansicht nicht mehr abweisen, dass in manchen Jahren zum Schmelzen der in ungewöhnlicher Menge herabgeflössten Eismassen ein grosses Mass von Wärme verbraucht, und dass dann dieser Wärmedefekt wie eine Klimaverschlechterung verspürt wird.

c) *Meereis.* Völlig abweichend von den aus zu Eis komprimiertem Schnee bestehenden Eisbergen stellen sich schon dem Blicke diejenigen Treibeismassen dar, *welche direkt aus gefrorenem Meerwasser bestehen.* Morphographisch steht nämlich dem eine namhafte Grösse über der Wasserfläche erreichenden, unregelmässig gestalteten Eisberge das flache, nur wenig über den Meeresspiegel hervorragende *Eisfeld* gegenüber, bei welchem die Flächenentwicklung überwiegt. Kleinere Massen werden *Flarden* oder *Schollen* genannt; in den höheren Breiten bilden sich aber aus diesen losen Bruchstücken kompakte Ansammlungen, *Packeis* genannt, und wenn durch Strömungen neue Eisfelder hinzugeführt werden, welchen das Packeis den Weg versperrt, so schieben sich jene über die Schranke empor, und es bildet sich eine Eiswildnis, die hie und da kaum mehr passierbar ist, wie das bekannte Beispiel der von *Hayes* im Jahre 1860

Fig. 98.



quer über den gefrorenen Smithsund gemachten Reise beweist. Durch den unregelmässigen Druck werden die Eisfelder oft so gepresst, dass sie eine windschiefe Oberfläche bekommen (*Schraubeneis, Hummocks*); dabei wirkt auch die *Regelation* mit, d. h. die merkwürdige, von *Faraday* entdeckte Thatsache, dass Eisstücke durch Druck dazu gebracht werden können, an einander festzufrieren. Mitten im Packeise bemerkt man wohl einzelne eisfreie Stellen, *Waken* genannt, die oft eine ganz bedeutende Grösse erreichen. Von ferne werden dieselben dadurch erkennbar, dass über ihnen der Horizont eine blauschwarze Färbung besitzt — *Wasserhimmel* —, während im übrigen der Gesichtskreis von einem weisslichen, durch Reflexion entstandenen Streifen umschlossen wird, dem *Eisblink.* Zu den merkwürdigsten Waken sind die längs der sibirischen Eismeergrenze allenthalben verstreuten *Polynjas* zu rechnen, deren Vorhandensein Viele mit einem angeblich bis in diese

entlegenen Erdräume hineinreichenden Ausläufer des Golfstromes in Verbindung bringen wollten. — Wesentlich durch die Arbeiten von *Saporta* und *Petterson* ist über die physikalischen Eigenschaften des Salzwassereises, dessen blosse Existenz selbst noch ein *Cook* und *Forster* leugneten, nunmehr ziemlich viel bekannt. Man weiss, *dass der Gefrierpunkt des Meerwassers tiefer als der des süssen Wassers liegt* (etwa bei — 2 ½ °), dass jedoch diese Minimaltemperatur, bis zu welcher hin eine stete Ausdehnung erfolgt, auch durch den Salzgehalt mit bedingt ist. Ferner kennt man jetzt auch den bei der Eisbildung massgebenden Vorgang und weiss, wie es kommt, *dass* — eine allen Seefahrern längst wohlbekannte Thatsache — *Seewassereis keine Salzbestandteile mehr enthält.* Ganz in aller Strenge ist dies nämlich nicht der Fall; wohl aber scheidet sich in dem Augenblicke, in welchem die Aenderung des Aggregatzustandes stattfindet, eine *wesentlich chloridhaltige Flüssigkeit* aus, welche als *Salzsoole* auf den Eisflarden vielfach sichtbar bleibt, und der feste Eiskörper enthält nahezu ausschliesslich noch *Sulfate.* — Mit dem Studium der *Metamorphosen des Salzwassereises* hat sich *Weyprecht*, gestützt auf ausgedehnte persönliche Erfahrungen, beschäftigt, und ihm verdankt man vorzüglich genauere Daten über die Zeiträume, welche zur Bildung einer Eismasse von gegebener Dicke erfordert werden [1]), und welche auch bei der Erörterung der Frage, ob ein Teil der Polarmeere längere Zeit hindurch eisfrei bleiben könne [2]), nicht ausser acht gelassen werden dürfen.

[1]) Die von *Nares* aufgestellte und bejahend beantwortete Frage, ob es *uraltes* oder *paläokrystisches Eis* gäbe, muss, wenn es sich bloss um Meerwasser handelt, unbedingt mit Nein beschieden werden, während allerdings das Binneneis, wie wir in Abschnitt XV uns überzeugen werden, auf obige Bezeichnung einen gewissen Anspruch erheben kann. Die grösste Dicke der im Laufe eines einzigen Polarwinters gebildeten Eisschicht beträgt nach *Weyprecht* nur 2½ m. Auf dieser Schicht schlägt sich, wenn der kurze Sommer deren Zerstörung nicht herbeizuführen vermochte, im darauffolgenden Winter neues Eis nieder, und so würde allerdings eine ungeheure Eismasse sich bilden, wenn nicht Temperaturschwankungen, Regenfall und Meeresströmungen unausgesetzt thätig wären, diese Massen wieder abzutragen und aus den losgelösten Fragmenten an anderen Orten wieder neue Packeisfelder zu erbauen.

[2]) Ein *offenes Polarmeer* in dem Sinne, welchen der auf die Feststellung dieser Thatsache unermüdlich bedachte Geograph *Petermann* mit jenen Worten verbunden wissen wollte, ist höchst wahrscheinlich nicht vorhanden, obwohl bei günstigen Eisverhältnissen die Möglichkeit, mit einem Schiffe über die Zirkumpolarregion hinweg zu gelangen (s. auch u. S. 310) nicht geleugnet werden kann. Es wird sich ähnlich mit diesem sagenhaften Polarmeere verhalten, wie mit den Meeresstrassen der *nordwestlichen* und *nordöstlichen Durchfahrt*, welche bezüglich Amerika und Asien nördlich zu umsegeln gestatten sollten und seit dem XVI. Jahrhundert ein Hauptziel für britische und niederländische Entdeckungsreisende darstellten. *Mac Clure* (1851—54 mit dem „Investigator“) und *v. Nordenskiöld* (1878—80 mit der „Vega“) haben durch ihr kühnes Vorgehen den Nachweis erbracht, dass man, wenn Schiff und Mannschaft auf der Höhe der Anforderungen stehen, und wenn ein- ja mehrmaliges Ueberwintern im Packeise nicht gescheut wird, allerdings jene Durchfahrten zu erzwingen imstande ist, aber der Welthandel darf an diese mutvollen Einzelleistungen keine weiter gehenden Hoffnungen anknüpfen.

XIII. Das Meer im bewegten Zustande (ozeanische Dynamik).

Klassifikation der Meeresbewegungen. Die Mechanik unterscheidet zwei grundsätzlich von einander verschiedene Bewegungsformen: die *schwingende* oder *oszillatorische*, deren Kennzeichen das ist, dass nach Umlauf einer gewissen Zeit ein bewegtes Teilchen wieder an denselben Ort im Raume zurückkehrt, den es früher schon einmal eingenommen hatte, und die *translatorische*, deren Wesen darin besteht, dass ein bewegter Punkt ununterbrochen an andere Stellen des Raumes gelangt[1]). Beide Bewegungsarten werden auch im Inneren und an der Oberfläche einer Wassermasse beobachtet; es gibt in derselben *Wellen* und *Strömungen*.

Was erstere anlangt, so kann die Entstehungsursache derselben eine doppelte sein, und so werden auch wir die Wellenbewegungen der Meere unter zwei wesentlich verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten haben. Es kann nämlich der *Wind* Wellen von oft nicht geringer Höhe und Ausdehnung zuwege bringen, doch werden diese Windwellen unter allen Umständen nahezu verschwinden gegen die gigantische Welle, welche sich *unter dem Einflusse der Attraktion von Mond und Sonne* bildet und unter dem Namen *Gezeitenwelle* bekannt ist.

Meeresströmungen scheinen für den oberflächlichen Blick ein Paradoxon zu bilden, denn um fliessendes Wasser als solches zu erkennen, bedarf es doch fester Ufer, welche im Meere nicht vorhanden sind. Wer jedoch jemals, von einem hoch gelegenen Standpunkte aus, eine überschwemmte Wiese gesehen hat, weiss, dass sich mitten durch die Inundation hindurch der aus seinem Bette getretene Bach oder Fluss deutlich erkennen lässt; sein ursprüngliches Rinnsal grenzt sich, trotzdem dass überall nichts anderes als Wasser zu erblicken ist, deutlich genug gegen die angrenzenden ruhigen Partien ab. Uebrigens gibt es auch anderweite ganz bestimmte Kennzeichen für das Vorhandensein einer Strömung im Meere; *Temperatur* nämlich und *Farbe des Meerwassers* erleiden schon bei der Annäherung an eine solche Strömung eine tiefgreifende Aenderung.

Wir werden jetzt die einzelnen Bewegungsformen, jede für sich und mit Hervorhebung besonders wichtiger Nebenerscheinungen, auf ihre Besonderheiten prüfen. Der Anfang werde mit den durch Wind erzeugten Wellen gemacht.

Windwellen. Durch Beobachtungen in der sogenannten *Wellenrinne*, sowie im freien Wasser, haben *E.* und *W. Weber*,

[1]) Daran wird auch nichts geändert, wenn die Bahnkurve *mehrfache Punkte* (mit Selbstdurchsetzung) besitzt.

Hagen, *Scott*, *Russell* u. a. die Gesetze der Wellenbewegung ermittelt, und auch die Theorie, vertreten durch *St. Venant, Boussinesq* u. a. vermochte einzelne der gewonnenen Ergebnisse zu bestätigen und zu vertiefen. Die charakteristische Bewegung (*Orbitalbewegung*) der vom Winde affizierten Wasserteilchen ist die in einer *gestreckten Zykloide* oder *Trochoide*[1]), doch lassen *Airy*s Rechnungen darauf schliessen, dass wenigstens in den der Oberfläche benachbarten Schichten die Orbitalbahn mit einer *Ellipse* vollkommen übereinstimmt. Uebrigens teilt sich die oszillatorische Bewegung des Wassers, selbst wenn der vom Winde gegebene Anstoss kein besonders energischer war, auch tieferen Schichten noch mit, wie dies durch die neuerdings sehr in Aufnahme gekommenen Beobachtungen und Experimente über *Kräuselung des Meeressandes* ausser Zweifel gesetzt werden konnte[2]). Dass die Wasserwellen reflektiert und gebrochen werden können, versteht sich von selbst, und gleicherweise kann man durch einen leicht anzustellenden Versuch an einer ruhigen Wasserfläche sich vergewissern, wie zwei einander durchkreuzende Wellensysteme *interferieren*, d. h. wie bald zwei *Wellenberge* oder *Wellenthäler* durch das Zusammentreffen sich gegenseitig verstärken, bald je ein mit einem Thale sich kombinierender Berg die ursprüngliche ebene Fläche wieder herstellt.

Die *Dimensionen* der Wellen, und zwar vor allem die Hauptdimension, der Vertikalabstand zwischen einem Wellenberge und dem nächst anliegenden Thale, werden nicht selten bis ins ungeheuerliche überschätzt. Die von den beiden *Pâris*, Vater und Sohn, zu diesem Zwecke angegebenen Instrumente haben einer richtigeren

[1]) Eine Zykloide wird bekanntlich von jedem Umfangspunkte eines Kreises beschrieben, der auf gradliniger Unterlage dahinrollt. Statt des betreffenden Punktes kann man jedoch auch einen anderen in der Ebene des Kreises befindlichen und mit diesem fest verbundenen Punkt ins Auge fassen, der bei einer analogen Bewegung dann eben die als Trochoide bezeichnete Kurve zurücklegt.

[2]) Diese *Wellenfurchen* haben *Aimé* und *Siau* vielfach beobachtet, und *G. H. Darwin* hat gezeigt, wie man dieselben mittelst einer über lockerem Materiale befindlichen bewegten Wassermasse künstlich erzeugen kann. Die Sandkörner werden, wie *Reynolds* darlegte, von dem bewegten Wasser, zumal wenn diesem eine schwingende und nicht eine progressive Bewegung eignet, nicht eigentlich am Grunde fortgeschleppt, sondern sie werden in die Höhe gehoben und fallen an solchen Punkten nieder, an welchen die Geschwindigkeit im Inneren der flüssigen Masse eine relativ geringe ist. So müssen sich also Wellenkämme und Wellenthäler im Sande bilden, welche denjenigen des Wassers entsprechen. Besonders schöne Bildungen dieser Art hat *Kinahan* an der irländischen Küste beobachtet. Auch *Rae* hat am gleichen Orte solche „*Wind Sand Ripples*“ bemerkt, die sich in geologischer Vorzeit gebildet haben dürften, indem der Platz hoch über der Flutmarke von heute liegt und jeder Aktion des Wassers entzogen ist. Andere Wahrnehmungen von *Wooster*, *Gilbert*, *Mellard-Reade* stimmen mit dem schon bekannten überein; der letztgenannte Geologe war auch so glücklich, die *spontane submarine Entstehung von Rippungen* unter dem Einflusse der herrschenden Windrichtung mit dem Auge verfolgen zu können. Im Maximalfalle betrug die Entfernung konsekutiver Scheitel 9, jede Berghöhe 1½ englische Zoll. Nach *Élie de Beaumont* scheint auch die Tiefenverteilung der Seetiere von der auf- und absteigenden Bewegung des jenen Nahrung zuführenden Wassers beeinflusst zu werden.

Würdigung der Verhältnisse die Bahn gebrochen, und zwar fand sich, dass die Messungsresultate sich der trochoidischen Theorie ganz gut anpassten. Die längsten Wellen hat bisher *Mottez* auf dem Atlantischen Meere gesehen; die betreffende Dünung (s. u.) hatte eine Länge von 824 m, und ihre Geschwindigkeit war gleich 36 m in der Sekunde. Dem gegenüber ist aber zu erinnern, dass da eben etwas Ausserordentliches vorlag, dass aber im freien Ozeane die Wellenlänge nur selten 140 m übersteigt. Die höchsten Sturmwellen erreichen, wenn nicht (s. u.) ein Hindernis störend einwirkt, gewiss nicht die Höhe von Türmen und auch nicht von Häusern; *Scoresby* mass in einem Falle 13, der jüngere *Pâris* im Maximalfalle 11,5 m. Nach *Pâris* und *Krümmel* geben wir nachstehend eine kleine Tabelle, welche ersehen lässt, dass die landläufigen Beschreibungen vielfach mit der von nüchternen Forschern nüchtern aufgefassten Wirklichkeit kontrastieren. λ bedeutet die Länge, h die Höhe der Welle.

Meeresteil	Mittel in m	Maximum in m	Minimum in m	Verhältnis $\lambda : h$
Atlantik; Passatregion . . .	1,9	6	0	35,2
Ind. Ozean; Monsunregion	2,8	5	1	35,3
Atlantik, südl.; Zone der Westwinde	4,3	7	1	31,0
Ind. Ozean; Zone der Westwinde	5,3	11,5	2,8	21,5
Ostchinesisches Meer	3,2	6,5	0	24,6
Westl. Grosser Ozean	3,1	7,5	0	33,0

Da nun zudem in den unselbständigen Meeresräumen die Dimensionen durchschnittlich diejenigen der Wellen der Ozeane nicht erreichen, so ersieht man, dass man sich vielfach von der Grösse der Meereswogen irrtümliche Vorstellungen macht [1]).

Von den unmittelbar auf das Einwirken des Windes zurückzuführenden Wellen ist wohl zu unterscheiden die *Dünung* („*swell*“, „*houle*“), welche durch die Wellenwirkung selbst ausgelöst wird und sich in entfernte Meeresteile fortpflanzen kann, die vom Winde nicht mehr direkt getroffen wurden. *Ueberschäumende Wellen* mit den bekannten weissen Kämmen fehlen der Dünung ganz, deren Wellenprofil sich ganz nach der trochoidischen Theorie (s. o.) richtet. Aber auch die Windwellen, die *Seen* des Nautikers, verlieren jene Kämme, wenn das sogenannte Stadium der *toten See* erreicht ist, d. h. wenn die Wellen jene Maximalhöhe erlangt haben, deren sie unter den obwaltenden Umständen überhaupt teilhaftig werden können. Interferierende Wellenzüge bringen einen mehr verworrenen *See-*

[1]) Einige ganz kürzlich erst von *Abercromby* bekannt gemachte Erfahrungsresultate führen allerdings zu etwas grösseren Beträgen. Der vielgereiste Forscher will zwischen Neuseeland und Südamerika Wellen gesehen haben, deren Höhe ungefähr 14 m, deren Länge 230 m, deren Stundengeschwindigkeit 47 englische Meilen erreichte.

gang zuwege, eine *Kreuzsee* und eine *Kabbelung*. Wenn der Seegang eine der herrschenden Luftströmung entgegengesetzte Fortschreitungsrichtung aufweist, so hat man es mit einer *Muhrsee* zu thun, und der vom Lande reflektierte Seegang wird *Widersee* genannt. *Sturmfluten* bilden sich nur in der Nähe des Landes; der durch sie bewirkte *Windstau* ist nach *Zöppritz* und *Lentz* imstande, nicht nur vorübergehend, sondern auf längere Zeit das Niveau des Meeres zu beeinträchtigen [1]) und das Wasser der einmündenden Flüsse zu einer rückläufigen Bewegung zu veranlassen.

Für die Windwellen ist der Umstand charakteristisch, dass sie stets in Scharen auftreten, indem jede Luftbewegung gleich eine ganze Anzahl von Wellen hervorbringt, die sich dann ganz unabhängig von einander fortpflanzen. Von diesen Wellen verschieden sind die *Uebertragungswellen*, wie sie durch einen einmaligen Anstoss, den Schlag des Ruders, durch geophysikalische Ereignisse [1]) und durch manche andere Ursache zustandekommen können. Die Engländer haben diesen ein ganz individuelles Gepräge an sich tragenden oszillatorischen Wasserbewegungen den Namen der *Einsiedlerwellen* („*Solitary Waves*“) beigelegt.

Eine sehr merkwürdige Erscheinung, die man schon seit langer Zeit kannte, ohne ihre Tragweite voll zu würdigen, ist die *Besänftigung der Wogen durch Oel*. Ganz bestimmt hat zuerst *B. Franklin* diese Thatsache ausgesprochen und durch Versuche im Hafen zu Boston bekräftigt, und dieselbe fand auch bald nachher eine Stütze in der Wahrnehmung *Scoresby*s, dass Fremdkörper, wie Eis und Eisschlamm in fein verteiltem Zustande, wenn sie in ausreichender Menge dem Wasser beigemischt sind, die Bildung von Sturzwellen verhindern. Von *Virlet d'Aoust* wurde ferner auf den nur den Ortsanwohnern bekannten Umstand hingewiesen, dass in der Nähe unterseeischer Petroleumquellen, wie sie z. B. am Isthmus von Tehuantepec und an der Strasse von Kertsch vorkommen, auch lebhafte Winde keine gehörige Wellenbewegung in Gang zu bringen vermögen. Planmässige Versuche, wie sie unlängst erst seitens der deutschen Marine im Griechischen Meere und im Quarnero angestellt worden sind, machen es mehr und mehr wahrscheinlich, dass künftig kein Schiff ohne Oelvorräte — die spezielle Beschaffenheit des Oels ist anscheinend ohne nennenswerten Einfluss — grössere Reisen unternehmen wird. So dünn das von dem flüssigen Fette auf der Wasserfläche gebildete Häutchen auch ist [2]), so eignet ihm

[1]) Man erinnere sich dessen, was oben (S. 171) von den gewaltigen Luft- und Wasserwellen gesagt ward, zu deren Bildung der Krakatau-Ausbruch den Anstoss gab, und welche den Erdball mehrmals umkreist haben.

[2]) Kennt man, was freilich praktisch nicht leicht eintreffen wird, das Areal, über welches ein Oelaufguss von bekanntem Volumen sich verbreitet hat, so ist die mittlere Dicke der Oelschicht unschwer zu berechnen. *Sohncke* hat aber bemerkt, dass letztere, nachdem sie zuerst in raschester Folge alle möglichen Interferenzfarben angenommen hat, unmittelbar vor dem Akte des Zerreissens in eine ganz gleichmässige bläulich-graue Färbung übergegangen ist. Wenn dieser Zustand erreicht ist, misst man den Radius der Oelscheibe, und alsdann ist die Berechnung der Dicke von selbst gegeben. Für Olivenöl

doch, bei verhältnismässig geringer *Oberflächenspannung*, eine ganz gewaltige *Zähigkeit*, wie denn auch von unten aufsteigende Gasblasen die Haut gewöhnlich nicht durchbrechen. Diese Zähigkeit, eine Tendenz, horizontal zu verbleiben, verhindert den Wind, Falten zu erzeugen, und da also die Trennungsfläche zwischen Wasser und Atmosphäre eine horizontale zu sein nicht aufhört, so kann in ersterem eine Wellenbewegung nicht, oder doch nur in sehr abgeschwächter Aeusserungsform, entstehen.

Die Brandungswoge. Wenn ein unüberwindbares Hindernis, so sagten wir oben, sich den fortschreitenden Wellen entgegenstellt, dann treten besondere Erscheinungen auf. Man fasst dieselben unter der Gesamtbezeichnung der *Brandungswoge* zusammen. Die bis dahin die trochoidische Profilform beibehaltende Welle beginnt, wenn sie in die Litoralzone der Brandungsbewegung eintritt, *sobald die Wassertiefe kleiner als die Wellenhöhe zu werden anfängt*, nach vorne überzuschlagen, zu schäumen. Man hat diese von *Hagen*, *Scott*, *Russell* u. a. näher erforschte Erscheinung früher allgemein in der Weise erklärt, dass die sich bei der Annäherung an den Strand stetig vergrössernde Reibung die Welle in der Tiefe aufhalte, verlangsame, während die höher gelegenen Partien ihre Bewegung ungehindert fortsetzten; so verliere der Wellenkamm seine Unterstützung und schlage über. Gewiss ist diese Auffassung des Vorganges nicht geradezu eine irrige, allein ausreichende Rechenschaft wird dadurch auch nicht gegeben, und insbesondere hinsichtlich der ungewöhnlich energischen Brandung an gewissen Küsten wird man auf die von *Hagen* gegebene, von *Krümmel* wieder ans Licht gezogene Erklärung zurückgreifen müssen. Damit angenähert jedes Wasserteilchen nach Vollendung einer einzelnen Schwingung wieder in die Stellung zurückgelangen könne, von welcher es ausgegangen war, darf die Tiefe des Wassers nicht kleiner als die ganze Wellenhöhe sein. Wenn dem aber (s. o.) nicht mehr so ist, dann können die Wasserfäden, nachdem ein Wellenkamm vorübergegangen, nicht mehr zu ihrer Anfangslage zurückkehren, die der seichteren Stelle zugekehrte Böschung der Welle wird steiler, als die dem freien Meere zugewendete, der Neigungswinkel wird ein rechter, und wenn auch diese Grösse noch überschritten ist, so muss ein Umkippen des Wellenscheitels eintreten. Verstärkt wird diese schon vorhandene Neigung zum Vornüberfallen noch durch den vom Lande kommenden Gegenstrom (an der Ostsee *Sog* genannt), den jeder im Meere Badende sehr bald kennen lernt; diese Unter-

fand der genannte Physiker eine Dicke von 111,5 Milliontelmillimeter mit einem wahrscheinlichen Fehler = ± 7,04; bei Rüböl wurde die Haut noch dünner gefunden, nämlich = 93,6 ± 6,82 Milliontelmillimeter. Diese Lineargrössen sind also noch kleiner als diejenigen, auf welche man bei der Bestimmung der Dicke von Seifenblasen geführt wird.

[1]) Als *Faden* bezeichnet man in der Hydrodynamik diejenige Linie, welche sämtliche im Laufe der Zeit erreichte Positionen eines gewissen Flüssigkeitsteilchens unter einander verbindet.

strömung trifft die heranrollenden Wellen, stemmt sich denselben in ihrem unteren Teile entgegen und befördert die Lostrennung dieser letzteren von den über ihnen befindlichen. Die Wichtigkeit dieser *Hagen*schen Analyse liegt nun offenbar darin: *selbst bei gänzlichem Fortfalle von Reibung zwischen der Welle und dem ansteigenden Untergrunde würde die Brandungswoge nach wie vor, wennschon vielleicht in bescheidenerer Grösse, beobachtet werden.*

Die mechanischen Kraftleistungen dieser Strandwogen gestattet das *Wellendynamometer* von *Stevenson* abzuschätzen. Dieser Apparat, welcher an den englischen Küsten seit beinahe einem halben Jahrhundert im Gebrauche steht, hat u. a. gelehrt, dass in den stürmischen Wintermonaten die Kraft des Anpralles mehr denn dreimal so gross ist, als in den ruhigeren Sommermonaten. Dass die Brandungswoge in ihrer Eigenschaft als Trägerin eines sehr hohen Masses von *potentieller* Energie, welche sich mit einemmale in *aktuelle* Energie umsetzt, auch tief eingreifende geologische Wirkungen ausüben kann, ist leicht begreiflich; welcher Art diese Wirkungen sind, wird in Abschnitt XVI zur Sprache kommen.

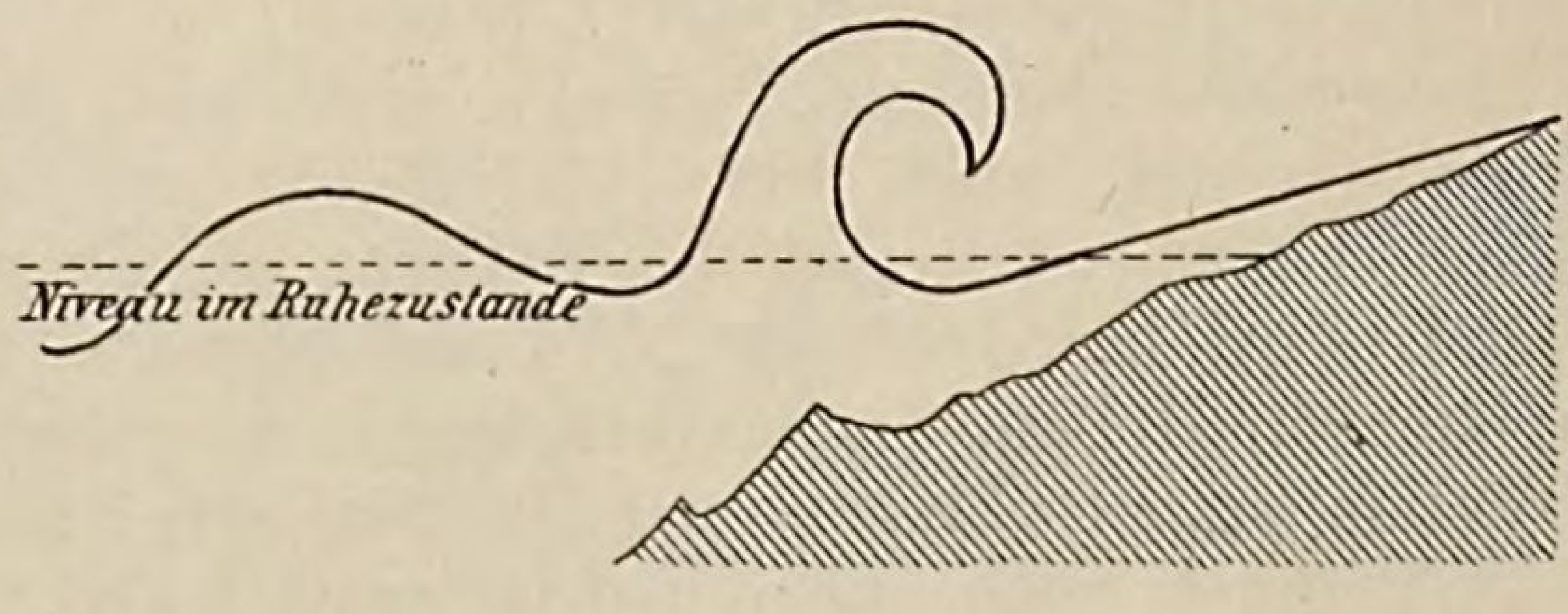
Die ungeheuren Höhen, bis zu welchen in manchen Fällen die brandenden Wellen emporschlagen, werden übrigens auch durch die vorstehende Darlegung noch nicht befriedigend erklärt; wenn es wahr ist, dass die Leuchttürme von *Eddystone* und *Sumburghead*, welch letzterer den ruhigen Wasserspiegel um mehr als 80 m überragt, bis zur Laterne hinauf überflutet werden, so muss man notwendig noch ein weiteres Gesetz der Mechanik zu Hilfe nehmen. Die am *Sprungkegel* zu beobachtenden, von *Daniel Bernoulli*[1]) zuerst theoretisch untersuchten Erscheinungen dürften den Schlüssel zum Verständnis jener aussergewöhnlichen Vorkommnisse darbieten. *Sowie eine in aufsteigender Bewegung befindliche Flüssigkeitsmasse gezwungen wird, in einen Hohlraum von weit geringerer Oeffnung einzutreten, steigt sie in diesem weit höher an, als sie ohne diesen Zwischenfall angestiegen wäre.* Da also, wo das Wasser des Meeres gewaltsam in enge Felsenschluchten hineingepresst wird, macht sich der Sprungkegel geltend. So entstehen, wie *v. Fritsch* richtig und nur etwas zu kurz bemerkt, jene springbrunnenartigen, mit atmosphärischer Luft stark gemengten Wasserstrahlen, welche man aus von der Flut unterwaschenen Felsufern manchmal in die Höhe spritzen sieht, und es haben auch die von den Spaniern *Bufaderos* genannten eigentümlichen *Strandfontänen* auf gewissen westafrikanischen Inseln aller Wahrscheinlichkeit nach keine andere Entstehungsursache.

Einzelne Küsten sind durch die Stärke ihrer Brandung unvorteilhaft bekannt. So die atlantischen Inseln Ascension und St. Helena; an letzterer Insel macht sich eine Jahresperiode bemerkbar, indem die *Roller* dann, wenn sie die Nordwestseite des Eilandes treffen, nicht direkt an die Felsküste herankommen können.

[1]) *D. Bernoulli, Hydrodynamica, seu de viribus et motibus fluidorum,* Strassburg 1738. S. 134.

Von den pazifischen Inselgruppen kann sich der Paumotu-Archipel des zweifelhaften Vorzuges einer sehr schlimmen Brandung rühmen. Doch werden alle diese lokalen Vorkommnisse in Schatten gestellt durch die berüchtigte *Kalema* an der Küste von Niederguinea, von welcher uns *Pechuël-Loesche* eine lebensvolle Beschreibung gegeben hat. Grundsätzlich ist sie von der gewöhnlichen Flachküstenbrandung, dem sogenannten *Surf*, nicht verschieden, so dass behufs ihrer Erklärung an gar kein ferne liegendes Ereignis appelliert zu werden braucht; es sind eben nur ungewöhnlich steil aufgerichtete Roller, die sich in rascher Aufeinanderfolge an das Ufer herandrängen. *Fig. 99* gibt eine Vorstellung von dem Profile dieser Rollwellen.

Fig. 99.



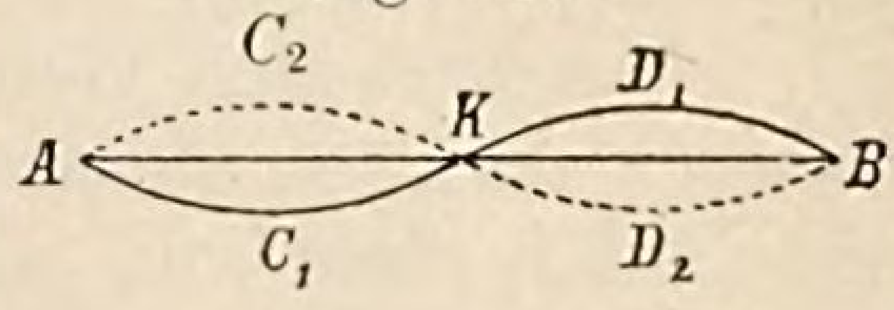
Während des einen Momentes erscheint die flüssige Masse dem Beobachter wie ein durchscheinender Tunnel, und im nächsten Momente schon ist der Berg samt dem Tunnel eingestürzt, um sich an einer anderen Stelle neu zu erheben. Bei heftigen Windstössen, so zumal bei beginnenden Gewittern steigert sich die Grossartigkeit der Erscheinung, und wenn es um diese Zeit schon dunkel ist, so leuchten die Wogenkämme in phosphoreszierendem Glanze. Seevögel, welche über der Kalema dahinflattern, werden von derselben hie und da erreicht und in ein nasses Grab herabgezogen; die grösseren Fische weichen ihr sorgfältig aus, und selbst Dampfschiffen kann sie, wenn sie gerade recht heftig einsetzt, die Einfahrt in die ohnehin nicht sehr guten Häfen unmöglich machen.

Stehende Schwingungen. Alle die Wellen, mit denen wir uns bisher zu beschäftigen hatten, haben das gemein, dass sie *fortschreitende* Wellen sind, d. h., wenn auch das einzelne Wasserteilchen sich von seiner Anfangslage nur wenig entfernt, so pflanzt sich doch der Anstoss auf weite Entfernungen fort. Wellenberge und Wellenthäler ändern dabei unaufhörlich ihren Ort im Raume. Man kann sich aber auch, an der Analogie der *schwingenden Saite* festhaltend, *stehende Wellen* denken, deren Eigentümlichkeit es ist, dass Berge und Thäler ununterbrochen mit einander abwechseln, während es auch Stellen gibt, die ganz und gar keine Bewegung aufweisen, sondern sich in völliger Ruhe befinden [1]). Solche stehende

[1]) Wenn eine Violinsaite, wie immer, angestrichen wird, bilden sich auf ihr Knotenpunkte, mit deren Lage der Geiger wohl vertraut sein muss, weil er, indem er sie mit dem Finger leise berührt, die bekannten *Flageolettöne* zu

Schwingungen, denen folgend die Flüssigkeitsatome also einfach in vertikaler Richtung auf- und niederschweben, können sich nur in abgeschlossenen Becken bilden, denn sie beruhen auf der *Interferenz* des in der einen Richtung sich bewegenden und des von der Küste reflektierten und in die entgegengesetzte Richtung übergeleiteten Wellenzuges. Es bilden sich *Knoten* und *Bäuche*, und zwar sind die letzteren bald nach oben, bald nach unten gerichtet. Gewöhnlich begegnen uns nur *uninodale Schwingungen*, nach Massgabe der *Fig. 100.* Während einer gewissen Zeit t werden alle Lagen eingenommen, welche zwischen den beiden Grenzlagen $A C_1 K D_1 B$ und $A C_2 K D_2 B$ in Mitte liegen; setzt man die Länge der Strecke AB $= l$, die Tiefe des Wasserbeckens $= p$, während g und π die längst bekannten Werte beibehalten, so ist, wie *Merian* gezeigt hat,

Fig. 100.



$$t = \sqrt{\frac{\pi l}{2g}} \text{ cotang hyp } \frac{\pi p}{l}.$$

Wenn p gegen l sehr klein ist, wie dies bei Binnenseen seltener, bei Meeresräumen meistenteils der Fall sein wird, so kann die hyperbolische Kotangente ohne namhaften Fehler $= 1 : \frac{\pi p}{l} = \frac{l}{\pi p}$ gesetzt werden, so dass also $t = l : \sqrt{2gp}$ wird. *Binodale Schwingungen* hat man bislang nur auf Binnenseen konstatiert, und es wird auf dieselben also im nächsten Abschnitte zurückzukommen sein.

Die ersten Beobachtungen über stehende Schwingungen sind am Genfer See gemacht worden, und daher kam es, dass die waadtländische Provinzialbezeichnung „*Seiches*" nachgerade für das ganze Phänomen das übliche geworden ist. Hier soll natürlich nur von solchen Seiches die Rede sein, welche im Meere auftreten.

So hat *Aimé* stehende Schwingungen von sehr kurzer Periode beschrieben, welche er im *Hafen von Algier* kennen zu lernen Gelegenheit hatte. Der *sizilianische Marrobbio*, den *Th. Fischer* längs der ganzen West-, Süd- und Südostküste jener Insel angetroffen hat, gehört vielleicht auch zu den Seiches, doch kann man hierüber nichts sicheres aussagen, während die der *kantabrischen Küste* eigentümliche *Resaca* ziemlich bestimmt das Gepräge einer uninodalen Schwingung an sich trägt. Merkwürdig wenig weiss man von der aus dem Altertum als *Charybdis* bekannten Wirbelbewegung in der Strasse von Messina, bezüglich deren man noch immer hauptsächlich auf die allerdings sehr treuen Schilderungen *Spallanzani*s an-

erzeugen vermag. Setzt man kleine „Reiterchen", unten ausgezackte Papierstückchen, genau in jenen Punkten auf die Saite, so bleiben dieselben in Ruhe, wenn auch sonst die Saite noch so heftig vibriert. Wahrscheinlich hängen die Oertlichkeiten, an denen sich im Inneren einer in stehende Oszillationen versetzten Flüssigkeit Knoten bilden, mit gewissen Eigentümlichkeiten des Grundes zusammen, und es wäre wünschenswert, die durch Seiches ausgezeichneten Seebecken gerade unter diesem Gesichtspunkte genau auszuloten.

gewiesen zu sein scheint. Dass Interferenz eines direkten und eines reflektierten Wellensystemes diesen in Wirklichkeit nicht gerade sehr gefährlichen Strudel erzeugt, muss man auf grund jener Schilderungen für wahrscheinlich erachten, während der von *Spallanzani* gleichfalls behauptete Einfluss der Mondstellungen noch durchaus nicht gesichert ist.

Ein altes und vielumstrittenes Problem bietet auch der *euböische Euripus* dar, an dessen Erklärung *Aristoteles* verzweifelt sein soll, während in dem von seinem Schüler *Theophrast* herrührenden Traktate „*De ventis*“ diese alternierende Strömung mit dem steten Wechsel von Land- und Seewinden in Verbindung zu bringen versucht ward. Die schmale Meerenge muss, da sie nur durch enge Sunde mit dem Aegäischen Meere zusammenhängt, eine geschlossene Wellenrinne darstellen, wie sie für das Zustandekommen von Seiches ganz besonders günstig erscheint. Die Entstehungsursache liegt nach *Forel*, der zuerst auf diese Art der Erklärung hinwies, ausserhalb des Euripus, indem die lunaren Gezeiten im Archipelagus (s. u.) es wesentlich sind, welche in ihren Wirkungen sich in dieser Meeresstrasse fühlbar machen. Neuere an Ort und Stelle angestellte Untersuchungen des Kapitäns *Miaulis*, welche *Krümmel* bearbeitete, haben dann bewiesen, dass im nördlichen Teile des Kanales die Erscheinung eine ganz andere ist, als im südlichen. Im Bereiche des Golfes von Talanti wechselt Hoch- und Niedrigwasser ganz und gar in dem Sinne, wie es die Theorie der Seiches fordert; im Süden dagegen scheinen gewisse Luftbewegungen, die man vielleicht — vgl. S. 243 — als „Fallwinde“ bezeichnen darf, die auf- und niedergehende Bewegung des Wasserspiegels zu verursachen.

Wahrscheinlich auf atmosphärische Einflüsse[1]) ist auch jene zumal den nordischen Meeren nicht fremde plötzliche Störung des ozeanischen Gleichgewichtes zurückzuführen, welche an der Ostsee mit dem sonderbaren Namen *Seebär* belegt wird. Unvorbereitet erhebt sich eine hohe Flutwelle, um rasch wieder zurückzutreten und dann von neuem loszustürmen; nachdem drei- bis viermal dieser Wechsel stattgefunden hat, tritt wieder die vorige Meeresstille ein. Von einem solchen Sturme wurden am 14. und 15. Januar 1858 die Inseln Oesel und Dagö heimgesucht; auf letzterer beobachtete man bloss eine zweimalige Woge, die aber das Wasser des Flüsschens Kertel weit zurückstaute und das einemal drei Fuss, das zweitemal sogar fast dreieinhalb Fuss über sein gewöhnliches Niveau emporhob. Weitaus am genauesten jedoch kennen wir den Seebär

[1]) Vielfach wurden abrupte und schwer zu deutende Seespiegelschwankungen mit entfernten Erdbeben zusammengebracht; *Krümmel* z. B. betrachtete den Seebär vom 15. Januar 1858 (s. o.) als eine Folgeerscheinung eines Erdstosses, welcher gerade damals das sarmatische Tiefland nördlich von den Karpathen heftig erschütterte. Logisch wird sich gegen diese Interpretation kaum etwas einwenden lassen, nur hat es eben schon zum öfteren Fluten der bezeichneten Art in vollständig erdbebenfreier Zeit gegeben, so dass also die seismische Erklärung wenigstens nicht als die einzig zulässige angesehen werden kann.

vom 16. und 17. Mai 1888, über welchen *R. Credner* eine eigene Monographie veröffentlichte; insbesondere ward dort dargethan, dass nur diejenigen Küstenteile des Baltischen Meeres stärker von der Flut betroffen worden waren, deren Verlauf ungefähr der Bahn eines starken, um diese Zeit über die Ostsee dahinziehenden barometrischen Minimums parallel war. Ueberzeugt, dass zwischen den Seiches auf Binnenseen und in abgeschlossenen Meeresbecken ein kausaler Unterschied nicht gemacht werden darf, werden wir der Sache im nächsten Abschnitte näher treten und uns über die meteorologischen Vorbedingungen der stehenden Wasserschwingungen ein Urteil zu bilden suchen.

Allgemeines über Ebbe und Flut. Fast an allen ozeanischen Küsten und auch an der Küste vieler Rand- und Mittelmeere ist man mit der als *Ebbe* und *Flut* bekannten Erscheinung vertraut, *dass je zweimal im Verlaufe von vierundzwanzig Stunden ein Steigen und Fallen der Gewässer eintritt.* Zusammenfassend nennt man beide Bewegungen die *Gezeiten* (niederdeutsch *Tiden*, französisch *Marées*, englisch *Tides*). Griechen und Römer hatten als Binnenvölker wenig Gelegenheit, sich mit den Gezeiten genauer bekannt zu machen, so dass litterarische Nachrichten darüber aus dem eigentlichen Altertum nur von *Herodot*, von dem Chaldäer *Seleucus* und von dem kühnen Ozeanfahrer *Pytheas* uns erhalten sind[1]). Seitdem jedoch die Entwicklung der Nautik genauere Beobachtung dieser einerseits das Einlaufen in den Hafen, andererseits die Ausfahrt aus demselben bezüglich erleichternden und erschwerenden Bewegung zur unabweisbaren Pflicht gemacht hat, ist allmählich ein stattliches Erfahrungsmaterial zusammengebracht worden, das noch fortwährend durch die Aufzeichnungen der *Mareographen* oder *selbstregistrierenden Pegel*[2]) vermehrt wird. Sehr bald schon, noch ehe das Gravitationsgesetz als solches erkannt war, drängte sich die Wahrnehmung auf, dass das Wechselspiel der Gezeiten *durch den Mond* geregelt werde, denn einmal entspricht die Dauer des Gezeitenwechsels fast genau der halben (scheinbaren) Umlaufszeit des Mondes, und anderer-

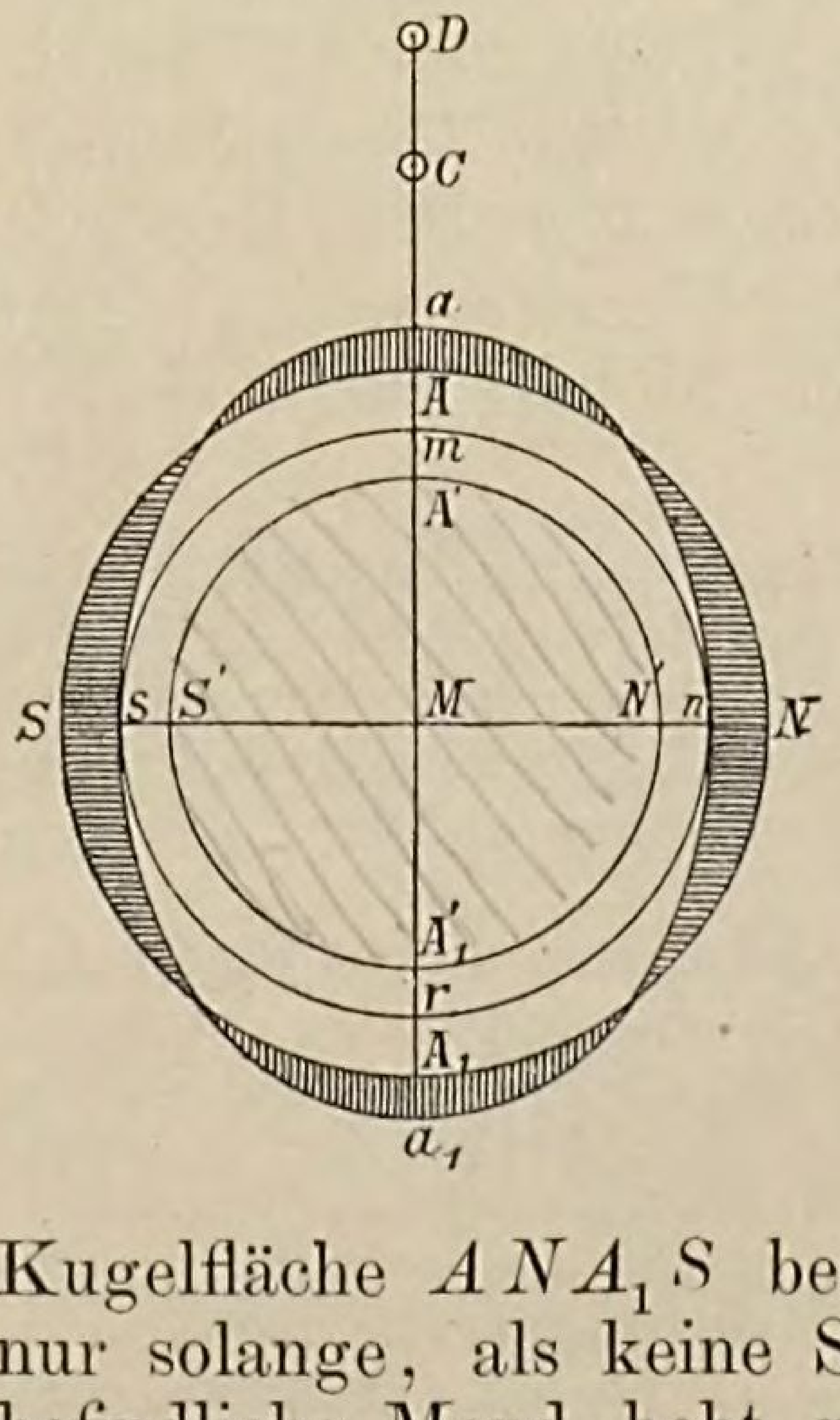
[1]) Durch *Diels'* Ausgabe der *„Doxographi Graeci"* ist es immerhin sehr wahrscheinlich gemacht worden, dass auch *Platon* und *Aristoteles* sich gelegentlich mit den Gezeiten beschäftigt haben, wenn auch allerdings in den auf uns gekommenen abgeschlossenen Schriften jener Philosophen nichts hierher gehöriges zu finden ist. *Berger* hat die von den Doxographen aufbewahrten Andeutungen gesammelt und erläutert.

[2]) *Palmer* stellte um 1830 das erste automatische Instrument dieser Art in den Londoner Docks auf, und heutzutage sind solche Apparate, zu deren Konstruktion *Reitz, Stahlberger, Seibt* u. a. neue Rathschläge gegeben haben, in allen namhafteren Häfen im Gebrauche. Zumeist ruht auf der in alternierender Vertikalbewegung befindlichen Fläche des Wassers ein an dieser Bewegung teil nehmender *Schwimmer*, dessen Bewegungszustand auf einen gleichförmig abrollenden Papierstreifen übertragen wird. Die Pegel, welche man zu Wasserstandsmessungen an Flüssen und Seen und zwar mit besonderer Berücksichtigung der den Seiches beizuzählenden Oszillationen anwendet, werden neuerdings, wie wir im folgenden Abschnitte sehen werden, nach ganz denselben Grundsätzen eingerichtet.

seits kehren immer nach Umfluss eines halben Monates, wenn also unser Trabant die Hälfte seiner wirklichen Bahn durchlaufen hat, Fluten von grösserer Intensität wieder. Letztere, die man *Springfluten* nennt, entsprechen zeitlich den *Syzygien* des Mondes (Voll- und Neumond), während zur Zeit der *Quadraturen*, wenn also der Mond im ersten oder letzten Viertel steht, die Fluten unbedeutend sind, sogenannte *Nippfluten* oder *taube Fluten*. Man kann sich somit fürs erste von den Beziehungen zwischen Gezeiten und Mondstand dadurch am besten Rechenschaft geben, dass man sagt: *Eine mächtige Flutwelle läuft, dem infolge der Erdrotation scheinbar selbst den Erdball umkreisenden Monde folgend, zweimal am Tage um die Erde, so dass also jeder Küstenort zweimal in dieser Zeit Hoch- und zweimal Niedrigwasser bekommt.* Der Eintritt einer bestimmten Phase würde sich von Tag zu Tag, ganz ebenso wie dies für die Kulmination unseres Begleiters gilt, um 50 Minuten verzögern.

Nun hat sich aber, nachdem *Newton* (s. u.) die Gezeiten als eine einfache Konsequenz seiner Lehre von der allgemeinen Schwere hingestellt hatte, die Notwendigkeit gezeigt, neben derjenigen des Mondes auch die *Attraktionswirkung der Sonne* in Rechnung zu ziehen; letzterer Himmelskörper ist zwar sehr viel weiter entfernt, als der Mond, dafür aber auch unverhältnismässig massenkräftiger. Weil also zwei Kräfte auf die Wasserhülle der Erde wirken, so wird im allgemeinen der Termin der grössten Fluthöhe bald etwas vor, bald etwas hinter den Zeitpunkt der Kulmination fallen. Die Zeitgrösse, welche man zu letzterer Zeit hinzu addieren oder von ihr subtrahieren muss, um *die wahre Zeit des Hochwassers* zu erhalten, wird die *Hafenzeit* eines bestimmten Ortes genannt. Mit Zuhilfenahme des bekannten nautischen Kalenders vollzieht sich die Berechnung dieses wichtigen Elementes ohne alle Schwierigkeit.

Fig. 101.



Die Notwendigkeit, dass der Flut des Ortes, welcher das anziehende Gestirn annähernd in seinem Zenit hat, auch eine Flut am Antipodenpunkte dieses Ortes entsprechen muss, die sogenannte *Nadirflut*, lässt sich leicht aus *Fig. 101* erschliessen. *C* ist hier der Mittelpunkt des Mondes, in welchem Punkte wir bekanntlich die ganze Masse des anziehenden Körpers vereinigt zu denken haben, *M* ist der Mittelpunkt der Erde, deren Lithosphäre wir uns durch die Kugelfläche $A' N' A'_1 S'$, deren Hydrosphäre wir uns durch die Kugelfläche $A N A_1 S$ begrenzt zu denken haben — letzteres eben nur solange, als keine Störung von aussen einwirkt. Der über A befindliche Mond hebt nunmehr das Wasser, und da der ihm zunächst befindliche Punkt A am stärksten affiziert werden wird, so muss ein hier befindliches Wasserteilchen um die Strecke Aa gegen

den Mond hin sich bewegen, während bei N und S das Wasser sinkt und sich resp. um die (gleichen) Strecken Ss und Nn dem Erdmittelpunkte nähert. An die Stelle der doppelt-sphärischen Wasserschicht $ASS'A'N'N$ ist also jetzt die nur noch nach innen von einer Kugelfläche begrenzte Schicht $asS'A'N'n$ getreten. Natürlich aber ist doch die Gesamtmenge alles Wassers auf der Erde unverändert dieselbe geblieben, und es muss also zu der Schicht $asS'A'N'n$ auf der dem Monde zugekehrten Seite eine ihr an Volumen gleiche Schicht $a_1sS'A'_1N'n$ vorhanden sein, welche sich auf der vom Attraktionszentrum abgewandten Seite der Erdkugel befindet. Auch hier muss die den Erdmittelpunkt mit dem Monde C verbindende grade Linie eine Symmetrieachse darstellen, und so kann es nicht fehlen, dass am Orte A_1', der mit A_1 gleiche geographische Breite von entgegengesetztem Vorzeichen und eine um 180° verschiedene geographische Länge hat, wieder ein relatives Maximum von Fluthöhe $= A_1 a_1$ auftritt. Beschreibt man eine zur Erde konzentrische Kugel mit $Ms = Mn$ als Halbmesser, welche den nach dem Monde gerichteten Erddurchmesser resp. in m und r trifft, so drücken die Strecken $am = a_1 r$ die Differenzen zwischen dem höchsten Stande der Flut und dem niedrigsten Stande der Ebbe aus.

Um nun weiter das Eintreten der Spring- und Nippfluten zu erklären, nehmen wir an, dass in unserer obigen Figur D den Mittelpunkt der Sonne darstelle. Man sieht dann sofort, dass die Zenitflut des Mondes sich zu derjenigen der Sonne summiert, und dass bei der angegebenen Stellung, welche der Konstellation des Neumondes entspricht, alle Vorbedingungen zum Entstehen von Springfluten gegeben sind. Fast ganz so günstig gestalten sich die Bedingungen zur Zeit des Vollmondes, indem jetzt eine Summation der lunaren Zenitflut zur solaren Nadirflut oder umgekehrt der solaren Zenitflut zur lunaren Nadirflut stattfindet; der strengen Theorie nach wird allerdings die Springfluthöhe des Vollmondes ein wenig hinter derjenigen des Neumondes zurückbleiben, *weil erfahrungsgemäss die Höhe der Nadirflut nicht ganz jene der Zenitflut erreicht.* Wenn andererseits das von den Mittelpunkten D, C, M der Sonne, des Mondes und der Erde gebildete Dreieck DCM in M rechtwinklig ist, so neutralisieren sich die fluterregenden Aktionen der beiden massgebenden Weltkörper teilweise, und es kann also, wie vorhin schon bemerkt wurde, zur Zeit der Quadraturen keine sehr hohen Fluten geben [1]).

Geographische Charakteristik der Gezeiten. Nur dann, wenn die Erde ganz aus tropfbarer Flüssigkeit bestünde, oder wenn

[1]) Wir entsinnen uns, dass einer sehr verbreiteten Ansicht zufolge die gemessenen Fluthöhen einer Korrektion bedürfen, deren Betrag allerdings niemand anzugeben weiss. Wenn nämlich (S. 55) der Erdkörper nicht absolut starr ist, sondern selbst bis zu einem gewissen Grade durch die Attraktion der Himmelskörper deformiert, aus einer Kugel resp. einem kugelähnlichen Sphäroide in ein Ellipsoid von grösserer Exzentrizität umgewandelt wird, so ist die gemessene Fluthöhe gleich der Deformationsgrösse der Hydrosphäre minus der Deformationsgrösse der Lithosphäre.

wenigstens ein überall gleich tiefer Wassermantel die feste Erde umschlösse, würden die Gezeiten ganz so eintreten, wie wir es soeben in einem schematischen Bilde zu zeichnen versuchten. Thatsächlich aber muss sich dieses Bild viele Veränderungen und Trübungen gefallen lassen, *insofern die verschiedenen Meerestiefen sowie die wechselnde Küstenkonfiguration den Verlauf der Erscheinung ihrerseits beeinflussen.* Vonvornherein die Art und das Mass dieser Einflüsse feststellen zu wollen, wäre ein vergebliches Beginnen; es bleibt vielmehr nur übrig, die Erfahrung sprechen zu lassen und dieselben nach geographischen Gesichtspunkten zu ordnen [1]).

An den Küsten der freien Weltmeere schliesst sich das Eintreffen von Flut und Ebbe gewöhnlich ohne grosse Abweichungen an die Theorie an, ebenso an Inselküsten, welch letztere nur meistenteils dadurch von den Kontinentalküsten verschieden sind, *dass an ihnen die Fluthöhe sehr unbedeutend ist.* Höchst auffallend ist dagegen die für das ganze Gebiet des Grossen Ozeanes typische *tägliche Ungleichheit*, deren Wesen sich dahin bestimmt, dass das eine der beiden vierundzwanzigstündigen Flutmaxima gegen das andere zurücktritt oder auch ganz verschwindet, während an sich gar kein Grund ersichtlich ist, weshalb nicht beide Maxima gleich stark in die Erscheinung treten sollten. In Kaliformien, an der Amurmündung, im Philippinen- und Ladronen-Archipel, an den Küsten von Neuguinea, Australien, bei Singapore begegnen wir dieser Anomalie, welche an den Ufern *des Chinesischen Meeres* ihre grösste Steigerung erfährt. *Davenport* und *Knox* verkündigten zuerst, dass man in den Häfen von Tongkin und Südchina, bis hinauf nach Kanton, nur eine einmalige Flut und eine einmalige Ebbe für den Zeitraum von vierundzwanzig Stunden kenne; später haben namentlich deutsche Seeleute sich mit der für die Schiffahrt in den ostasiatischen Gewässern bedeutsamen Erscheinung beschäftigt, und *P. Hoffmann* hat auch einen Weg angedeutet, auf welchem man vielleicht zu einer Erklärung dieser Ausnahmsfälle gelangen kann. Es ist nämlich wohl denkbar, dass da eine *Interferenzerscheinung* vorliegt, welche die Doppelwelle, die täglich jeden Küstenpunkt erreichen soll, in eine einzige stehende Schwingung der einerseits von Asien, andererseits von Amerika begrenzten Wassermasse — also in eine Seiche grössten Masstabes — verwandelt. Allein weshalb dehnt sich diese Seiche nicht auch bis zum nördlichen China aus, und

[1]) Von *Binnenseen* darf dabei abstand genommen werden; dieselben sind, selbst den Kaspischen See mit eingerechnet, zu klein, als dass die Gezeiten sich auf ihnen fühlbar machen könnten. Alle Angaben dieser Art, wie sie z. B. *Capper* in betreff des Bodensees machte, haben sich als irrtümlich erwiesen oder sind auf eine Verwechslung mit Seiches hinausgelaufen. Die eigenartigen Beobachtungen, welche *Klönne* in einem „ersäuften“ Bergwerke Böhmens machte, und aus denen ein Anwachsen und Sinken der Grubengewässer ähnlich wie beim freien Meere zu folgen schien, stehen zur Zeit noch ganz isoliert da, und an ein wirkliches Analogon der Gezeiten ist wohl kaum zu denken. Auch die Behauptung des alten *Dicuil* (IX. Jahrhundert), dass ein See in Nordafrika in jedem Mondmonate ein regelmässiges Steigen und Fallen bethätige, hat keine Bestätigung gefunden.

weshalb trifft man die Eintagsflut auch an solchen Küsten, z. B. Südaustraliens an, denen ein Gegenüber so gut wie gänzlich fehlt?

Eigenartig liegen auch die Verhältnisse in den vom Körper der Ozeane fast gänzlich abgeschnürten Mittelmeeren. Der *Ostsee* sprach *Schultén* die Gezeiten ganz und gar ab, indem lediglich der veränderliche Luftdruck hie und da eine alternierende Bewegung des Wassers, z. B. einen Strom gegen den Mälar-See und aus demselben heraus hervorbringe; *Bruncona* und *Hällström* haben sich schon vor achtzig Jahren in folgender Weise vernehmen lassen: „Tägliche Erfahrungen zeigen, dass die Ostsee, obgleich sie nicht der Ebbe und Flut unterworfen ist, dennoch mehrere Fuss steigt oder fällt, so wie die verschiedenen Winde auf das Wasser wirken und diese zum Sunde hinein oder heraus treiben.“ Auch das *Mittelländische Meer* sollte nach älterer Meinung des pulsierenden Lebens entbehren; indessen trifft dies keineswegs zu. Seit man in Toulon, Fiume, Pola und anderen Seeplätzen Mareographen in Thätigkeit hat, weiss man sehr gut, dass auch dort der Abstand zwischen Hoch- und Niedrigwasser gar kein so unbedeutender ist. Wohl am stärksten markieren sich die Gezeiten an der Grossen und Kleinen Syrte, und schon im Altertum war man, wie *Partsch* nachgewiesen hat, auf den an der Küste von Tunis stattfindenden Wasserstandswechsel aufmerksam geworden; bei *Sfax* soll die Differenz bis auf 2 m anwachsen können. Am *Malischen Meerbusen*, dessen Tiefe eine sehr geringe ist, war das Steigen und Fallen des Wassers bereits zu *Herodot*s Zeit bekannt gewesen. Besonders eigenartig gestalten sich die Dinge in der Adria, innerhalb deren von Süden gegen Norden ein allmähliches Anwachsen der Fluthöhen zu bemerken ist: bei *Brindisi* beträgt die Differenz zwischen Maximum und Minimum 0,19 m, bei *Venedig*, auf dessen Lido auch der Unerfahrene das Zurücktreten und Wachsen des Meeres leicht konstatiert, steigt die Differenz auf 0,60 m und bei *Triest* erhebt sie sich sogar auf 0,70 m.

Gezeitentheorien. Wenn wir von einer *Theorie der Gezeitenerscheinungen* sprechen, so begreifen wir unter diesem Gesamtnamen eigentlich zwei wo nicht grundsätzlich so doch graduell von einander verschiedene wissenschaftliche Pflichten. In früherer Zeit waren die an eine Theorie zu stellenden Anforderungen erfüllt, sobald die Ursachen, aus denen die Erscheinung folgte, in einer sowohl der Logik als auch den Erfahrungsthatsachen genügenden Weise klargestellt war. Späterhin spannte man die Anforderungen höher: eine Theorie muss nicht nur im allgemeinen das Kausalitätsbedürfnis befriedigen, sondern sie muss auch der quantitativen Seite gerecht werden und es ermöglichen, dass auf ihrer Grundlage das, was in einem gegebenen Zeitpunkt sich einstellen muss, vorausberechnet werde. Auf diese natürlich erst seit *Newton*s Auftreten möglich gewordene Erweiterung des Begriffes werden wir bei unserer Uebersicht über die Gezeitentheorien Rücksicht zu nehmen haben.

Platon (s. o.) glaubte, dass die ganze Erde, wie ein Schwamm, von Flüssigkeit durchzogen sei, und wenn dann „schaukelartig“ die Gewässer aus den Poren des Erdballes aus- und wieder in dieselben zurückströmten, bemerke man das Steigen und Fallen der Gewässer, welches er, wie wir wissen, aus eigener Anschauung nur ganz unvollkommen kennen konnte. Diese Lehre änderten später die Stoiker dahin ab, dass die Erde ein grossartiger Organismus sei, dessen Atemholen sich eben in Ebbe und Flut äussere. Aus den wenigen Andeutungen der Doxographen über *Aristoteles* geht hervor, dass dieser Philosoph die Erhebung des Wassers auf Winde zurückführte, zu deren Entstehung der Auf- und Untergang der Sonne die Veranlassung geben sollte. Vom Einflusse des Mondes weiss *Aristoteles* noch nichts; hierauf scheint vielmehr erst *Posidonius*, der die Mitteilungen des *Pytheas* (s. o.) verarbeitete, verfallen zu sein. Zur Römerzeit war es bereits anerkannt, dass Mond und Sonne die Gezeiten regulierten, denn *Plinius*, dessen „Naturgeschichte“ ja nur die Quintessenz alles zeitgenössischen Wissens darstellt, äusserte sich darüber mit klaren Worten. „*Et de aquarum natura,*“ sagt er, „*complura dicta sunt*: *sed aestus maris accedere ac reciprocare, maxime mirum*: *pluribus quidem modis, verum causa in sole lunaque.*“ Bei den Arabern geriet die richtige Anschauung allerdings wieder in teilweise Vergessenheit, und auch die Scholastiker dachten nichts weniger als klar über diesen Punkt, obwohl *Beda Venerabilis* mit dem Satze, „*aestus oceani lunam sequitur*“, den richtigen Weg hätte zeigen können. Den meisten Beifall fand während des Mittelalters die Vorstellung, dass gasartige Aufblähungen das Meerwasser in die Höhe trieben, eine Vorstellung, von welcher sich noch die 1643 zu Paris erschienene „*Hydrographie*“ des sonst tüchtigen Mathematikers *Fournier* nicht frei zu machen vermochte. *Galilei* hat seinem — nicht in den Druck gelangten — „*Dialogo sopra il flusso e riflusso del mare*“ (1616) die Gezeiten von der Achsendrehung der Erde abzuleiten gesucht und ausdrücklich Stellung gegen *Kepler* genommen, welch letzterer den Mond als einen magnetischen, die ganze Erde und mit besonderer Intensität deren flüssige Umhüllung an sich ziehenden Körper betrachtete, ohne sich allerdings von der stoischen Doktrin (s. o.), dass die Erde eine Art Lebewesen sei, völlig frei machen zu können. Längere Zeit beherrschte auch die *Cartesianische Wirbeltheorie* das Feld, der u. a. der berühmte Geograph *Varenius* huldigte; dieselbe erwies sich als so zählebig, dass noch 1740 die Pariser Akademie den Preis für die beste Theorie der Ebbe und Flut zwischen den drei grossen, auf *Newton*schem Boden stehenden Analytikern *Maclaurin, L. Euler* und *D. Bernoulli* einerseits und dem die Grundsätze des *Cartesius* verfechtenden Philosophen *Cavalleri* andererseits teilen zu müssen vermeinte.

Durch *Newton*s im Jahre 1687 herausgekommene „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ war die Lehre von den Gezeiten mit einem male auf festen Boden gestellt, und man konnte sofort daran gehen, für die Fluthöhen angenäherte Ausdrücke zu ermitteln. Die Kräfte, mit welchen ein Himmelskörper von gegebener Masse

auf ein Wasserteilchen einwirkt, lassen sich jetzt ebenfalls angeben, wie an einem einfachen Beispiele dargethan werden soll. Wir halten uns an *Fig. 100* und bezeichnen die Kräfte, mit welchen resp. der Mond, dessen Masse μ sein soll, auf zwei in A und A_1 befindliche Wasserteilchen von der Masse 1 einwirken soll, mit K und K_1. Da die Anziehungskraft der Erde, deren Radius r ist, das Wasser an dem einmal eingenommenen Orte zurückzuhalten bestrebt ist, so muss sein, wenn d die Entfernung MC bedeutet, k aber den Attraktionsfaktor (S. 46) vorstellt,

$$K = \frac{qm}{(d-r)^2} - \frac{qm}{d^2},\quad K_1 = \frac{qm}{d^2} - \frac{qm}{(d+r)^2}.$$

Entwickelt man durch Division mit $(d^2 \mp 2dr + r^2)$ in die Einheit zur rechten des Gleichheitszeichens in Reihen, so erhält man

$$K = qm\left(\frac{2r}{d^3} + \frac{3r^2}{d^4} + \ldots\right),\quad K_1 = qm\left(\frac{2r}{d^3} - \frac{3r^2}{d^4} + \ldots\right).$$

Man sieht sofort, dass $K > K_1$ ist, dass also auch (S. 305) die Zenitflut grösser als die Nadirflut sein muss; in erster Annäherung darf man überhaupt die Kraft, mit welcher der Mond auf ein wo immer befindliches Wasserteilchen wirkt, gleich $2qmrd^{-3}$ setzen.

Die Folgezeit hat, ohne selbstverständlich die einzig mögliche Basis des *Newton*schen Gravitationsgesetzes aufzugeben, die Theorie der Gezeiten von sehr verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachtet. Eine gedrängte Uebersicht über die wichtigsten Phasen dieses Entwicklungsganges muss hier notwendig eine Stelle finden.

I. *Die statische Theorie.* Das Wesen dieser von *Newtons* Nachfolgern ausgebauten Anschauungsweise, welche noch heute ihren Wert beibehält, und von der wir, ohne sie beim Namen zu nennen, bei den vorstehenden Entwicklungen bereits Gebrauch gemacht haben, ist durch folgende Problemstellung gekennzeichnet: *Welche Fläche begrenzt einen flüssigen Körper, auf den sowohl interne als auch äussere Anziehungskräfte einwirken, so dass die Gesamtresultante dieser Kräfte also in jedem Punkte der Fläche zu dieser selbst senkrecht steht?* Die betreffende Fläche muss eine *Niveaufläche* (S. 44) sein, und die weitere Behandlung der Aufgabe fällt der analytischen Mechanik zu. Die Aufgabe, für einen Ort von gegebener geographischer Breite die Fluthöhe zu ermitteln, ist theoretisch lösbar [1]),

[1]) Unter der vereinfachenden Annahme, dass die anziehende Masse m sich in der verlängerten Erdachse befindet, gibt die Gleichgewichtstheorie für einen Ort von der Breite φ die Fluthöhe

$$h = \frac{3 r_1^4 m}{8 \Delta \pi r^3 d^3}\,(3 \sin^2 \varphi - 1);$$

hier haben m, r und d ihre Bedeutung beibehalten, r_1 ist der Halbmesser der nicht deformierten Hydrosphäre, Δ die Dichte des Erdkörpers. Die Höhe h wird gleich Null, wenn $m = 0$, d. h. wenn gar keine störende Masse vorhanden ist, sodann wenn $d = 0$, d. h. wenn sich diese Masse in unendlicher Entfernung befindet, und endlich noch für

$$\varphi = \text{arc}\sin\sqrt{\frac{1}{3}} = 35^0\,16' \text{ (ungefähr).}$$

die Lösung genügt aber freilich nicht den Forderungen der Praxis. Dafür aber hat es die Gleichgewichtstheorie ermöglicht, neben der bekannten zwölfstündigen Periode der Gezeiten auch noch *andere Periodizitäten* zu erkennen, von denen wir die wichtigsten in Kürze namhaft machen wollen. Es gibt eine *halbmonatliche Ungleichheit*, entsprechend der Thatsache, dass in einem Monate der Mond alle überhaupt möglichen Stellungen zur Erde und Sonne nach einander einnimmt; es gibt ferner eine *tägliche Ungleichheit*, die wegfallen würde, wenn die scheinbare Tagesbahn des Mondes mit dem Aequator zusammenfiele; es gibt endlich auch eine *Halbjahrgezeit*, indem die Sonne während der einen Hälfte des Jahres auf der nördlichen, während der anderen auf der südlichen Himmelshemisphäre verweilt. Ja sogar die astronomischen *Zykeln* müssen ihre besondere Gezeit haben, und a priori darf nicht daran gezweifelt werden, dass auch eine *neunzehnjährige Gezeit* existiert, entsprechend dem Zeitraume, nach dessen Ablauf, wie der Athener *Meton* feststellte, ein gewisses Vielfaches von tropischen Sonnenjahren (19) einem Vielfachen von synodischen Mondmonaten (235) fast ganz genau gleich geworden ist. Nach *G. H. Darwin*s Berechnung der fünfzehnjährigen Flutbeobachtungen im Hafen von Karatschi (Vorderindien) scheint freilich die Hoffnung, dass die dem *Meton*schen Zykel entsprechende Gezeit jemals aus den sie verhüllenden unregelmässigen Schwankungen des Meeres herausgeschält werden könne, aufgegeben werden zu müssen.

II. *Die älteren dynamischen Theorien.* Der leicht erkennbare Mangel der statischen Theorie besteht darin, dass von den Bewegungen innerhalb der Wassermasse vollständig abgesehen wird. Diesem Gebrechen suchte *Laplace* zu begegnen, indem er auf das Gezeitenproblem die *Grundgleichungen der Hydrodynamik* anwandte, und auf diese Weise hat er auch der modernen, später zu erörternden Auflösung des Flutvorganges in eine Reihe von Einzelprozessen vorgearbeitet. *Laplace* berücksichtigte die Erdumdrehung, die Reibung dagegen nicht, wogegen *Th. Young* umgekehrt die erstere vernachlässigen zu dürfen glaubte. Eine mehr praktische Förderung der Sache strebten *Whewell* und *Lubbock* durch die von ihnen gezeichneten *Flutstundenlinien* — *Isorhachien*, *Homopleroten* — an, Kurven, welche sämtliche Orte, die zur nämlichen Zeit Hochwasser haben, mit einander verbinden. Der dieser Kurvenkarte zu grunde liegende Gedanke, dass die Flutwelle für die ganze Erde eine einheitliche sei und in der Südsee ihren Ursprung habe, erwies sich später als unhaltbar, und die Karte selbst hat deshalb nur insoweit noch Wert, als sie empirisches Material übersichtlich zur Darstellung bringt.

Jene *Knotenlinien*, auf welche wir uns schon in der Meteorologie (S. 236) geführt sahen, begegnen uns demnach jetzt auch wieder in der Gezeitenlehre. Allerdings gestaltet sich die Formel für h minder einfach, wenn dem anziehenden Körper seine richtige Position an der Himmelskugel angewiesen wird, allein auch dann ergibt die Diskussion, dass den betreffenden Parallelkreisen eine gewisse Bedeutung als Knotenlinien nach wie vor gewahrt bleibt.

III. *Die Kanaltheorie.* Der englische Mathematiker *Airy* fasste die sämtlichen Meere der Erde als ein Aggregat von Kanälen auf, die entweder mit einem grössten Kreise oder mit einem Parallelkreise der Erdkugel zusammenfallend gedacht wurden. In jedem solchen Kanale sollten zwei halbtägige Flutwellen entstehen und sich in entgegengesetzter Richtung fortpflanzen. Man gewinnt so den Vorteil, geschlossene Ausdrücke für die Fluthöhe an einem bestimmten Orte normieren zu können.

IV. *Die harmonische Analyse.* Jede periodische Oszillation eines Punktes, der um eine Mittellage schwingt, und dessen Geschwindigkeit v aus der *Amplitude* a, der *Periode* T und der *Epoche* ε [1]) nach der Formel

$$v = -\frac{2a\pi}{T}\sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varepsilon\right)$$

berechnet werden kann, wird von den englischen Physikern, *Will. Thomson* an der Spitze, als eine *einfache harmonische Bewegung* bezeichnet. Man kann nun die Fluthöhe, ohne über das Zustandekommen der Wellen u. s. w. sich bestimmte Hypothesen zu bilden, als ein Gesamtresultat einer Reihe einzelner Bewegungszustände definieren, von denen jeder ein harmonischer ist. Jede Gravitationswirkung, durch welche die beiden fluterzeugenden Himmelskörper von dem Orte am Himmel abgelenkt werden, an welchem sie sich, falls solche nicht existierte, befinden würden, liefert einen der obigen Summanden. Die sogenannte *harmonische Analyse*, nach welcher man zur Zeit ausschliesslich die Fluthöhen berechnet, um deren Ausbildung sich aber neben *W. Thomson* noch besonders *G. H. Darwin*, *Peters*, *Wolf-Luksch* und *Börgen* Verdienste erworben haben, hat ihr Endziel in folgendem zu erblicken: *Die Fluthöhe wird dargestellt durch eine nach den Sinus und Kosinus der Vielfachen der Grösse $n_i t$ fortschreitende Reihe, unter t die Zeit, unter n_i gewisse Bogengrössen verstanden, welche den genauen Ort der beiden massgebenden Gestirne an der Himmelskugel fixieren.*

Die Gezeitenströme. Jede Welle breitet sich aus, und wenn auch, wie bekannt, das *einzelne* Wasserteilchen sich nicht weit von seiner Gleichgewichtslage entfernt, so setzt sich doch die Bewegung nach und nach in beliebige Fernen fort und ruft für jeden, der mit der Art der Bewegung nicht anderweit vertraut ist, den Eindruck einer Translation hervor. Die horizontale Verschiebung des Wellenkammes gegen das Land hin nennt man den *Flutstrom*, die entgegengesetzt gerichtete Verschiebung den *Ebbestrom*, und beide in ihrer Gesamtheit machen die *Gezeitenströme* aus. In dem Augenblicke, in welchem das zwischen Hoch- und Niedrig-

[1]) Denken wir uns die Welle, wie das in unserem Falle ja gestattet ist, als eine *longitudinale*, so kennzeichnet ε die Zeit zwischen dem Nullwerte und jenem Werte von t, welcher eben der Geschwindigkeit v des oszillierenden Punktes entspricht.

wasser mitten inne liegende Mittelwasser erreicht ist, tritt der *Stromwechsel* ein. Allerdings gilt dies nur, so lange das Wasser gleichmässig tief ist, und so lange die Welle eine *symmetrische* Gestalt besitzt. Sobald die Wellenbewegung sich dem in schiefer Ebene unterseeisch verlaufenden Strande nähert, greift eine Gestaltsveränderung der Wellen platz, ähnlich, wie wir dies (S. 298) auch von der durch den Wind bewegten Brandungswoge in Erfahrung gebracht haben. Während bei der ungestörten Welle zum Steigen und Fallen gleich viel Zeit verbraucht wird, nimmt nunmehr das Steigen kürzere, das Fallen längere Zeit in Anspruch, *und damit verringert sich auch nahe der Küste der Zeitunterschied zwischen Hochwasser und Stromwechsel.* Auf grund dieser und weiter gehender Erwägungen wurden *Airy* und *Börgen* in den Stand gesetzt, die anscheinend regellosen Strömungen im Aermelkanal einem Gesetze zu unterwerfen. Die Kompliziertheit dieser, sowie auch der der Nordsee eigentümlichen Gezeitenströme ist vorzüglich darin begründet, dass von verschiedenen Seiten her Wellenzüge in das bezügliche Meeresbecken eintreten und daselbst interferieren. Dabei macht sich dann auch die uns bereits (S. 239) bekannte ablenkende Kraft der Erdumdrehung geltend, welche bewirkt, dass — auf unserer Halbkugel — der Flutwechsel am rechten Ufer eine grössere Höhe erreicht, als am linken. Die nachstehende Tabelle von *Krümmel* zeigt deutlich genug, wie stark sich die Tendenz nach rechts in der engen Strasse zwischen England und Frankreich erweist:

Nordseite	Flutgrösse in m		Südseite
Scilly-Inseln	4,9	7,5	Ouessant-Insel
Fowey	4,6	8,4	Bas-Insel
Portland Bill	2,1	4,7	Casquets
Needles	2,3	6,3	Cherbourg
Brighton	6,0	8,0	Fécamp
Folkestone	6,1	8,9	Boulogne
Ramsgate	4,6	5,8	Dünkirchen

Inerhalb eines schmalen, von den Küsten aus gegen die Mittellinie sich rasch vertiefenden Kanales, in welchen von der einen offenen Seite her eine Flutwelle eingedrungen ist, müssen sich, wie *Airy* dargethan hat, die Gezeitenströmungen derart kombinieren, dass ein am Ufer und in der Kanalachse befindliches Schiff, wenn sich diese Schiffe der Wirkung der Strömung frei überlassen, im Verlaufe von etwas über sechs Stunden je eine *volle Umdrehung* macht, aber mit entgegengesetztem Drehsinne. Man spricht in solchem Falle von *rotatorischen Strömungen* [1]).

[1]) Bloss anhangsweise wollen wir an dieser Stelle der von dem Deutschrussen *Schilling* sehr eingehend ausgeführten, gegenwärtig aber allseitig aufgegebenen Hypothese gedenken, welcher zufolge sämtliche Meeresströmungen (s. u.) zu den Gezeitenströmen gehören sollten.

Die Flutwelle in den Flussmündungen. Von den Gestaltsveränderungen, welche die Flutwelle beim Herantreten an eine Flachküste erfährt, ist bereits gesprochen worden. Besonders einschneidend werden diese Veränderungen dann ausfallen, wenn eine Flussmündung der andringenden Woge freien Pass ins Innere des Festlandes eröffnet, während doch gleichzeitig das ausströmende Süsswasser eine aufstauende Wirkung auf die Meeresflut ausübt. Die Erscheinung, welche sich bei dieser Sachlage herausbildet, wird das *Rastern*[1]) *der Flüsse* oder besser, nach *Breusing*, das *Flussgeschwelle* benannt. Es kann an jedem in ein grösseres Meer sich ergiessenden Flusse beobachtet werden, doch erreicht die in die Mündung eintretende Welle nur an gewissen Stellen eine namhafte Grösse. Alsdann wird eine solche Welle als *Stürmer* oder, nach *Andries*' Vorschlage, als *Sprungwelle* bezeichnet.

Von den europäischen Flüssen sind es hauptsächlich die französischen, an deren Unterlaufe man die Erscheinung der Sprungwelle studieren kann. Im Gebiete der Gironde nennt man dieselbe „*Mascaret*" oder „*Rat de marée*"; weiter nördlich, zumal in der Seine, tritt der Name „*Barre*" auf. In deutschen Flussgebieten weiss man nichts von dieser abnormen Wellenbildung, doch scheint dieselbe früher in der Emsmündung vorgekommen zu sein. Es lautet dies auffällig, aber der alte „*Periplus maris erythraei*" gedenkt ganz desselben Ereignisses von der indischen Narbadda, deren Aestuarium heutzutage von keiner Sprungwelle mehr heimgesucht wird. Von asiatischen Strömen, für welche letzteres auch jetzt noch gilt, sind der Ganges, resp. der als Hugli bezeichnete Mündungsarm desselben, einige Küstenflüsse der Insel Borneo und der Tsiën-tang in China zu nennen, in welch letzterem die bis über die Stadt Hang-tscheu-fu hinauslaufende Welle eine Höhe von 8 m und mehr erreichen soll. Dass auch Afrika in unserer Aufzählung nicht ungenannt bleiben darf, weiss man erst seit kurzem, seitdem nämlich *Lenz* seine Beobachtungen über den Zambesi veröffentlicht hat. Das grossartigste Beispiel dieser Art jedoch tritt uns in der *Prororoca* des unteren Amazonenstromes entgegen, von welcher uns im vorigen Jahrhundert *De la Condamine*, in diesem *Martius* und *Brauer* lebensvolle Beschreibungen gegeben haben. Eine Wassermauer, wie sie sonst nur bei seismischen Flutwellen beobachtet zu werden pflegt (S. 170) rückt mit grosser Schnelligkeit und unter furchtbarem Gebrause stromaufwärts vor und ängstigt mitunter selbst noch Orte, welche 2—300 km von der eigentlichen Mündung entfernt sind. Es wird jedoch nicht dieser ganze Weg von einer kompakten Welle zurückgelegt, sondern es bricht diese an den sogenannten *Wartestellen* (portugiesisch „*esperas*") in sich zusammen, um sich weiter landeinwärts von neuem zu erheben.

[1]) *Krümmel* ist der Meinung, dass die Lokalbezeichnung Rastern, welche der ältere *Berghaus* von niederdeutschen Flusschiffern sich hatte mitteilen lassen, zwar im allgemeinen ein starkes Geräusch im Wasser ausdrücke, mit dem eigentlichen Flussgeschwelle aber nichts zu thun habe.

Erst durch das allerdings wesentlich nur auf die Geschehnisse in europäischen Flüssen bezug nehmende Werk von *Comoy*[1]) ist einige Klarheit in die Mechanik der Flussgeschwelle gekommen. Es wird insbesondere zu beachten sein, dass sich nicht lediglich die oszillatorische Bewegung, welche dem eindringenden Meerwasser eingepflanzt ist, auf das fliessende Wasser überträgt, sondern es wird auch thatsächlich eine gewisse Quantität Wasser vom Meere aus in das Flussbett hineingetrieben, welche vorher nicht vorhanden gewesen war; damit aber ist der Anlass zur Enstehung uud Weiterverbreitung einer Uebertragungswelle (S. 297) gegeben.

Das gewöhnliche Flussgeschwelle braucht von der Gezeitenwelle nicht notwendig bedingt zu sein; bei den Stürmern im wahren Sinne macht sich jedoch zweifellos die Anziehung von Mond und Sonne geltend. Die vielfach gehörte Behauptung, dass die Pororoca auch bei Niedrigwasser einsetze, hat sich nicht bestätigt; *Martius* bemerkt sogar ausdrücklich, dass er nach dem Stande des Mondes sich auf den Eintritt des Ereignisses vorbereitete, und dass dasselbe auch wirklich zur erwarteten Zeit sich einstellte. *Brauer* hebt dementsprechend hervor, dass dann, wenn an der Küste Nippflut (S. 304) herrsche, die Flutwelle im Trichter des Stromes keine irgend erhebliche Grösse erreiche.

Hiemit können wir die Gezeiten verlassen und uns den Meeresströmungen zuwenden. Die Gezeitenströme und die Flussanschwellungen vermitteln einen naturgemässen Uebergang zu denjenigen Meeresbewegungen, durch welche das einzelne Wasserteilchen, welches bisher in eine enge begrenzte Sphäre gebannt schien, in beliebig grosse Fernen entführt werden kann.

Allgemeines über Meeresströmungen. Die Alten kannten die Meeresströmungen nicht oder thun ihrer doch wenigstens keine Erwähnung; erst bei arabischen Schriftstellern wird auf die Strömungen im Westen des Indischen Ozeanes bezug genommen, weil insbesondere der zwischen Madagaskar und dem afrikanischen Festlande dahinziehende Strom die Segelschiffahrt nach Norden auf das äusserste erschwerte. Die Guineaströmung lernten die Portugiesen im XV. Jahrhundert, die grossen Strömungen des Atlantischen Ozeanes lernten *Columbus* und, ihm folgend, die spanischen Entdecker im XVI. Jahrhundert kennen. In der „*Geographia universalis*“ des *Varenius* und in einem sehr merkwürdigen Büchlein des Polyhistors *Isaak Vossius*[2]) sehen wir ein bereits einigermassen befestigtes Wissen von den Meeresströmungen vor uns, und *Athanasius Kirchers* „*Mundus subterraneus*“ (Amsterdam 1664) brachte die erste *Strö-*

[1]) *Comoy, Études pratiques sur les marées fluviales et notamment sur le Mascaret; application aux travaux de la partie maritime des fleuves*, Paris 1884. Eine sehr gute Uebersicht des Inhaltes hat *Andries* (Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 5. Jahrgang. S. 265 ff.) gegeben, und auch der bezügliche Abschnitt in *Krümmels* trefflichem „Handbuch der Ozeanographie“ (2. Band, Stuttgart 1887. S. 256 ff.) hält sich in erster Linie an *Comoys* Forschungen.

[2]) *Vossius, De motu marium et ventorum liber*, Haag 1663.

mungskarte. Später haben sich *Romme* und *H. Berghaus* der kartographischen Darstellung der von den Geographen und Seeleuten hinsichtlich der Ströme im Meere gewonnenen Resultate gewidmet, und in unserer Zeit hat sich *Krümmel* um die Ausgestaltung dieses Teiles der ozeanischen Physik grosse Verdienste erworben. Früher, als man noch nicht auf das Studium dieser Erscheinung sein besonderes Augenmerk gerichtet hatte, war das empirische Material einzig in den Schiffsrechnungen der Kapitäne gegeben, und noch jetzt müssen die Schiffstagebücher sorgfältig auf etwa in ihnen enthaltene *indirekte* Angaben über Stromverhältnisse geprüft werden. Wenn ein Schiff von dem Orte A nach dem Orte B etwa auf einem grössten Kreise[1]) der Kugel sich bewegt hat, so kann, vorausgesetzt, dass man die geographischen Koordinaten von A, die Länge des Weges und dessen Azimut bei A kennt, die Berechnung der Breite und Länge von B nach bekannten Sätzen erfolgen. Gesetzt nun, das Schiff habe einen Weg gleich AB zurückgelegt, sei aber doch nicht nach B gekommen: dann muss eine Ursache vorhanden gewesen sein, welche das Fahrzeug vom wahren Wege ablenkte, und wenn nicht Fehler bei der Bestimmung von Kurs und Distanz vorgekommen sind, so ist diese Ablenkung als *Stromversetzung* zu betrachten.

Direkter kommt man zum Ziele mit Hilfe von *Schwimmern* oder *Flaschenposten;* man übergibt leichte, im Wasser schwimmende Körper der Strömung, und wenn es das Glück will, dass dieselben später wieder aufgefangen werden, so kann man, da man ein gutes Stück des von dem strömenden Wasser zurückgelegten Weges kennt, den Gesamtweg interpolatorisch konstruieren[2]). Auf diese Weise hat im Jahre 1886 und 1887 der *Erbprinz von Monaco* auf der „Hirondelle" eine Reihe von Versuchen gemacht, die grossenteils gelangen, unser für die betreffenden Meeresteile schon ziemlich gut fundiertes Wissen aber allerdings nicht beträchtlich zu erweitern vermochten. Zudem wird durch Schwimmer natürlich nur von etwaigen Oberflächenströmen Rechenschaft gegeben. Will man auch grössere Tiefen auf translatorische Bewegungen durchforschen, so muss man sich der von *Sigsbee*, *Aimé* u. a. angegebenen *Treibkörper* bedienen, welche entweder am Schiffe selbst oder aber an einer zu dem Ende verankerten Boje befestigt sind.

[1]) Wenn das Schiff, was aber jetzt sehr häufig geschieht, nicht den kürzesten, sondern nach alter Sitte den loxodromischen Verbindungsweg einschlägt, bleiben doch die Verhältnisse die gleichen, und es tritt nur an die Stelle dessen, was wir Azimut nannten, der konstante Kurswinkel oder dessen Komplement.

[2]) Mitunter besorgt die Natur den Transport ohne Zuthun des Menschen. Bekannt ist, dass *Columbus* aus Gegenständen, welche an den Azoren angetrieben wurden, auf das Vorhandensein eines Festlandes im Westen schloss. Wenn ferner auf Spitzbergen Pflanzenkörper gefunden werden, welche — wie die Bohne von *Entada gigalobium* — nur auf den Antillen gedeihen, so ist keine andere Folgerung als die möglich, dass jene durch eine Meeresströmung nach dem hohen Norden verfrachtet worden sind.

Geübte Meeresforscher halten sich an *Aenderungen im Salzgehalte, in der Farbe und Temperatur*, welche fast stets die Nähe einer Strömung im Meere verraten. Auch andere Kennzeichen können mitunter eine gewisse Hilfe gewähren, so würde z. B., wenn man die Kenntnis davon nicht schon anderweit besässe, die auffallende Regenlosigkeit der südperuanischen Küste die Vermutung nahe legen, dass hier ein kalter Meeresstrom dem Ufer sich nähert.

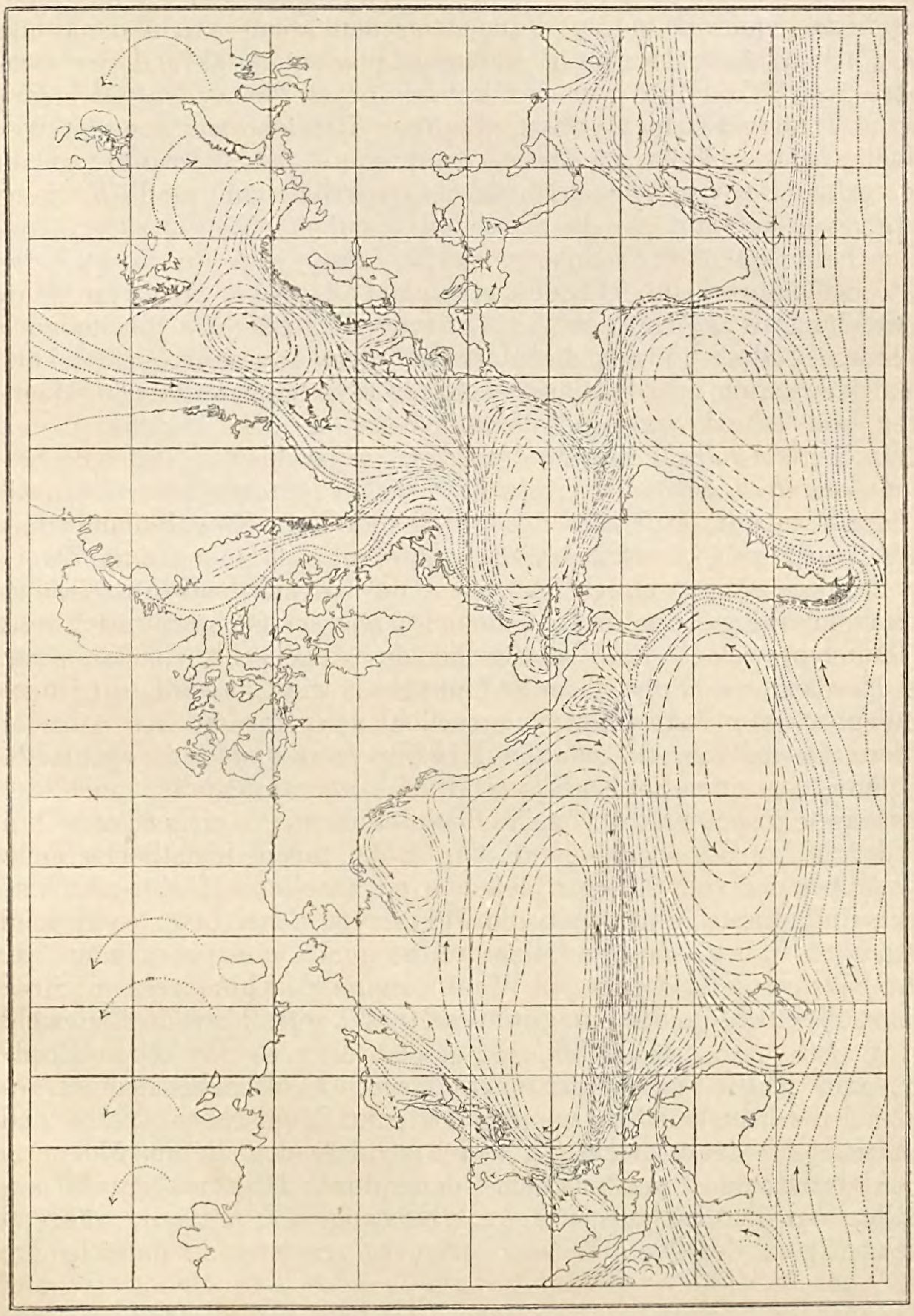
Man unterscheidet *kalte* und *warme Strömungen*. Die ersteren bezeichnet man häufig als *polar*, die letzteren als *äquatorial*, doch trifft diese Bezeichnung den Kern der Sache hie und da sehr wenig.

Geographische Verteilung der Meeresströmungen. Wir geben nun, wesentlich nach *Krümmel*, eine Skizze der Strömungen im Meere, indem wir für die einzelnen grösseren Meeresräume die ihnen eigentümlichen Zirkulationssysteme verzeichnen. *Fig. 102* dient dieser Darstellung zur Unterstützung.

I. *Atlantischer Ozean*. Von den afrikanischen Küsten her dringen zwei Ströme, der erst von *Findlay* klar erkannte *nördliche* und der stärkere *Südäquatorialstrom* gegen die Küste Südamerikas heran. Letzterer erleidet östlich vom Kap San Roque eine Zweiteilung, welche zur Folge hat, dass die warme *Brasilienströmung* an der Küste des Kontinentes hinzieht, bis sie etwas nördlich von der Mündung des La Plata durch die antarktische *Falklandströmung* abgedrängt und auf den freien Ozean hinaus gelenkt wird. In einem ziemlich scharfen Knie wendet sie sich dann gegen Afrika, welchen Erdteil sie jedoch nicht völlig erreicht, da die mit der Falklandströmung aus einer gemeinsamen Wurzel entspringende kalte *Benguelaströmung* der Küste von Nieder-Guinea bis zum Aequator hin parallel läuft. Die Brasilienströmung bildet mit dem südlichen Teile des südlichen Aequatorialstromes ein abgeschlossenes Zirkulationssystem, in dessen bewegungslosem Inneren u. a. die Insel St. Helena gelegen ist. Der spitze Winkelraum zwischen nördlicher und südlicher Aequatorialströmung wird von minder regelmässigen Strömungsbewegungen ausgefüllt; bestimmt tritt nur die *Guineaströmung* hervor, welche sich in der Biafra-Bai ausbreitet. — Die Aequatorialströmung tritt durch die zahlreichen Pforten des Karaibischen Meeres in dieses ein, gewinnt zwischen Kuba und Yukatan hindurch den Mexikanischen Golf und zwängt sich sodann als *Floridastrom* zwischen der erstgenannten Insel und der Halbinsel Florida durch, um, sich unausgesetzt fächerförmig verbreiternd, den Atlantik quer zu durchkreuzen. Später, etwa von der Länge New-Foundlands an, erhält diese gewaltige Strömung, deren wissenschaftliche Erforschung mit *Franklin* beginnt, den Namen *Golfstrom* (*„Gulf-Stream“*); die ungeheuren Wärmevorräte, welche derselbe aus seiner tropischen Heimat mitbringt, bewirken die aus den Isothermenkarten (*Taf. III*) hervorgehende Milde des Klimas in den nach Westen gelegenen Ländern Europas. Der Floridastrom kommt an die Küste der

Vereinigten Staaten nirgends heran, weil die aus der Baffins-Bai kommende und unaufhörlich an der Ostküste Nordamerikas her-

Fig. 102.



Meeresströmungen. — — — *warme* *kalte*

laufende *Labradorströmung* ersteren entfernt hält; die Strömungsgeschwindigkeit der Polarströmung ist in niedrigeren Breiten eine so geringe, dass man nur durch Thermometermessungen die Exi-

stenz der Zwischenschicht, welche die Amerikaner „*Cold Wall*“ nennen, nachzuweisen in der Lage ist. Etwa vom 40. Meridiane westlicher Länge von Greenwich aus beginnt die Zerfaserung des Golfstromes. Ein ziemlich breiter Ast dringt weit nach Norden bis in die Melville-Bai vor, während er allerdings im Smith-Sund von *Bessels* nicht mehr aufgefunden werden konnte; ihm dankt die Westküste Grönlands ihre Besiedlungsfähigkeit, während die Ostküste, welche an die von der kalten *Ostgrönlandströmung* durchfurchte Dänemarkstrasse stösst, in dieser Hinsicht weit ungünstiger gestellt ist [1]). Weitere Zweige verlaufen gegen Island, gegen Grossbritannien und gegen Norwegen; westlich und nördlich dieses letztgenannten Landes hat sich eine förmliche Warmwasserzirkulation herausgebildet, welche noch Nowaja-Semlja in ihre Kreise zieht und wahrscheinlich auch es bewirkt, dass das Karische Meer, in welchem *K. E. v. Baer* mit Unrecht den *Eiskeller von Europa* erblicken wollte, in manchen Jahren ganz freies Wasser behält. Ein dritter wichtiger Ausläufer des Golfstromes ist die den Meerbusen von Biscaja speisende *Rennelströmung*. Die Hauptknickung erfährt der Golfstrom unweit der Azoren; der hier sich abbeugende *Nordafrikanische Strom* reicht dem *nördlichen Aequatorialstrome* (s. o.) die Hand, so dass sich hier das grosse nördliche Zirkulationssystem des Atlantik zeigt, welches weite unbewegte Räume und in diesen das Sargasso-Meer umschliesst. — Die Neben- und Mittelmeere ermangeln begreiflicherweise jener in vertikaler Richtung mächtigen Strömungen, welche das Kennzeichen der ozeanischen Becken sind. Die Nordsee empfängt ihre Strömungen, wie *Mohn*s ausgedehnte Untersuchungen feststellten, wesentlich von Norden her, wo sie ja dem Ozeane ihren grössten Zugangsquerschnitt entgegenstellt. Im Südosten, zumal vom Skager-Rack an, macht aber auch der schwache Salzwasserstrom sein Recht geltend, welchen die Ostsee durch den Sund und die beiden Belte hinaussendet. Derselbe erreicht an der schwedischen Küste eine ziemliche Mächtigkeit und Geschwindigkeiten, mit denen die Führer von Segelbooten sehr wohl zu rechnen haben. In der Ostsee selbst sind Dauerströmungen gar nicht bekannt; erst wenn der Wind längere Zeit hindurch mit einer Stärke, die nicht unter ein gewisses Mass herabsinken darf, geweht hat, macht man, nach *Dinklage*, in dem Bereiche zwischen Bornholm und Rügen die Wahrnehmung eines Oberflächenstromes. — Die meist schwachen Strömungen des Mittelländischen Meeres sind noch recht wenig erforscht. Gewiss ist, dass aus diesem Meere in den Atlantik und ebenso aus dem Pontus durch Bosporus [2]) und Dardanellen ein deutlich ausgeprägter Oberstrom sich ergiesst, während gleichzeitig in der Tiefe Wasser aus dem grösseren in das kleinere

[1]) Die früher allgemein verbreitete Ansicht, dass die Ostseite Grönlands gänzlich unbewohnt sei, wurde am bestimmtesten durch *Nansen* widerlegt, der dortselbst mehreren, allerdings ein Nomadenleben führenden Eskimostämmen begegnete.

[2]) Die Türken nennen diese „Teufelsströmung“ (Scheitan Akyntysy).

Meeresbecken aspiriert wird. Der Pontische Strom ist durch das ganze Aegäische Meer hindurch zu erkennen; in der Nähe der Insel Cerigo kommt ihm eine Stundengeschwindigkeit von einer Seemeile zu. Zu den genauer bekannten Meeresteilen gehört, dank den Arbeiten von *J. Wolf* und *Luksch*, das Adriatische Meer, in welchem eine geschlossene Strömung obwaltet; an der westlichen Küste geht dieselbe südlich und an der östlichen, jonisch-dalmatinischen, geht sie nördlich, so dass ungefähr bei Venedig die Umbiegung stattfindet.

II. *Grosser Ozean.* Hier steht die Forschung, welche auch erst seit sechzig Jahren etwa, nämlich seit *Duperrey*, eifrig betrieben wird, auf ungleich weniger festem Boden. Ein etwas nördlich vom Gleicher nach Westen und ein etwas südlich von jenem Hauptkreise ebenfalls nach Westen ziehender Strom — *nördlicher und südlicher pazifischer Aequatorialstrom* — drücken den zentralen Partien des Ozeanes ein bestimmtes Gepräge auf. Zwischen beiden ist eingelagert die *äquatoriale Gegenströmung*, die jedoch nach den Untersuchungen von *Kerhallet* und *P. Hoffmann* nicht etwa eine regelmässige Wasserbewegung nach Art des Golfstromes darstellt, sondern es ist nur so viel gewiss, dass während einzelner Monate zwischen Mindanao und der Landenge von Darien eine Driftströmung von West nach Ost beobachtet wird. Beide Aequatorialströme sind nur Teile eines in sich geschlossenen, jeweils für das südliche und nördliche pazifische Becken charakteristischen Zirkulationssystemes. Nahe der Küste Neuhollands teilt sich der Südstrom, sendet durch die Torres-Strasse einen Teilstrom in den Indischen Ozean und zieht mit dem Hauptkörper, als *Ostaustralische Strömung*, an der Küste von Neusüdwales hin, um sodann, Neuseeland in mannigfachen Windungen umschlingend, nach Osten zu fliessen. Als verhältnismässig schwacher Strom, *südliche Westwinddrift* zubenannt, schliesst er im Osten sich wieder an den südlichen Aequatorialstrom an, doch gelangt er nicht an den Kontinent Südamerikas selbst heran. Jene gewaltige kalte Westwinddrift nämlich, welche in der ungefähren südlichen Breite von 40° bis 60° den ganzen Erdball umflutet, spaltet sich beim Anprall an der chilenischen Küste unweit Valdivias, und während von da ab ein ziemlich kompakter Kaltwasserstrom (*Kap Hoorn-Strom*) die Verbindung mit der uns bereits bekannten Falklandströmung aufsucht, steigt die *peruanische Strömung* — ohne eigentlichen Grund auch nicht selten *Humboldtströmung* genannt — an der Küste Perus und Ecuadors bis zu den Galapagos-Inseln hinab, Regenlosigkeit und Dürre diesen Gegenden bringend (*Guano-Inselchen, Wüste Atacama*). — Der nördliche Aequatorialstrom erleidet bei Luzon und Formosa eine scharfe Abbeugung und läuft dann, indem er auch Stromfäden in das Gelbe und Japanische Meer eintreten lässt, an der Küste von Nipon hin, die er jedoch nicht ganz erreicht. Dies ist der wohlbekannte *Kuróschio* — nicht *Kuro Siwo* — der Japaner, der mit dem Golfstrome eine ganz unverkennbare morphologische Aehnlichkeit aufweist. Durch die ostwärts gerichtete *nördliche Westwinddrift* und

durch die daran sich anschliessende südwärts gerichtete *Kalifornia-strömung* wird das nördliche, die Sandwich-Inseln umgebende Zirkulationssystem im Pazifik geschlossen. Die klimatischen Wirkungen desselben verspürt die Westküste Nordamerikas, wie der Verlauf der Isothermen darthut (*Taf. III*), sehr deutlich[1]), wenn auch dieselben an Intensität nicht die von dem weit mächtigeren Golfstrome erzielten Effekte erreichen. Im Nordwesten des Stillen Ozeanes haben dagegen kalte Driften die Oberhand, welche eben auch eine allzu nahe Berührung des Kuroschio mit der japanischen Küste (s. o.) verhindern.

III. *Indischer Ozean.* Gründe, die uns sehr bald den Sachverhalt einleuchtend machen werden, bedingen im Indischen Meere, *soweit dasselbe unter der Herrschaft der Monsune steht*, regelmässige Halbjahrsdriften, die resp. nach Nordost und nach Südwest gerichtet sind. Selbst noch in der Bucht von Aden herrscht während des Sommers eine Bewegung im Wasser, welche derjenigen im Winter diametral entgegengesetzt verläuft. Weit regelmässiger gestalten sich die Strömungsverhältnisse im südlichen, von den Passaten und nicht mehr von den Monsunen beherrschten Teile des Indischen Ozeanes. Madagaskar liegt in der Mitte zwischen zwei parallelen, nordsüdlich gerichteten Strömungen, der *Madagaskarströmung* im Osten und der *Moçambiqueströmung* im Westen; letztere heisst in ihrem südlichen Teile *Agulhasströmung*[2]) und greift mit energischer Beugung ziemlich weit in den Bereich des Atlantischen Meeres über. — Der Persische Golf entbehrt der eigentlichen Strömungen ganz, ist aber dafür ein Tummelplatz ausgesprochener Gezeitenströmungen. Durch das Rote Meer zieht sich wenigstens im Winter ein vom Indischen Ozeane kommender Salzwasserstrom hindurch[3]). Innerhalb der Sunda-See, deren Studium sich *Blink* zur besonderen Pflicht gemacht hatte, tritt allenthalben eine sehr grosse Uebereinstimmung zwischen den Oberflächenströmungen und den gerade regierenden Winden zu tage.

IV. *Polarmeere.* Von den antarktischen Strömungen weiss man wenig; beachtenswert erscheint die zwischen den Crozet- und Kerguelen-Inseln südlich von der grossen Westwinddrift abzweigende *Kerguelenströmung.* Von den Strömungen zwischen Grönland, Spitzbergen und Nowaja-Semlja war bereits die Rede. Wieweit der

[1]) Von der nordwestlichen, schon unter 50° Breite gelegenen Ecke des Unionsgebietes sagt *Hirschberg* (Von New York nach San Francisco, Leipzig 1888. S. 119): „Der Winter ist hier milde, da der japanische Strom seine warmen Wellen an die Küsten von Washington und Britisch-Columbia sendet.“

[2]) So genannt nach dem die Südspitze Afrikas bildenden „Nadelkap“ (*Cabo Agulhas*).

[3]) Wie sich im Kanal von Suez Ober- und Unterstrom verhalten, scheint man noch nicht mit Sicherheit ermittelt zu haben. Da aber *Kobelt* niedere Tiere, die früher nur im Roten Meere zu finden waren, nunmehr auch im Mittelmeere nachgewiesen hat und umgekehrt, so ist nicht daran zu zweifeln, dass jene künstliche Meeresstrasse ihrer ganzen Länge nach von entgegengesetzt gerichteten Strömungen durchzogen wird.

Golfstrom über diese letztgenannte Doppelinsel hinausreicht, ob er wirklich an der temporären Bildung der Polynjas im Eismeere mit beteiligt ist, das sind alles noch offene Fragen. Von hoher Bedeutung dürfte der durch die sonst verunglückte Expedition der „Jeanette“ sehr wahrscheinlich gemachte Umstand sein, dass ungefähr aus der Gegend von Franz-Josephsland ein Strom die Richtung nach dem Nordpole zu einschlägt. Im Smith-Sund kommt derselbe anscheinend wieder zum Vorschein [1]).

Hypothesen über die Entstehung der Meeresströmungen. Während *Kepler* die Ansicht hegte, dass die Meeresströmungen in der Achsendrehung der Erde ihren Grund hätten, eine Ansicht, die freilich von der unvollkommenen Mechanik ihrer Zeit Zeugnis ablegt, indem die Rotation bloss vorhandene Bewegungen zu beeinflussen, solche aber nicht hervorzubringen vermag, bildeten sich später mehr und mehr *drei verschiedene Theorien* heraus, zu denen als vierte noch die nur unter gewissen beschränkenden Voraussetzungen platz greifende Theorie von *Ekman* hinzutritt [2]). Wir besprechen jene drei wichtigsten Hypothesen nach einander und suchen für eine jede den Giltigkeitsbereich zu umgrenzen.

I. *Die kalorische Theorie.* Schon *Lionardo da Vinci* meinte gelegentlich, die Tropenhitze mache die Gewässer in der Nähe des Aequators aufschwellen, und in den entstehenden Hohlraum würden dann die Polarfluten hereingesogen. *Vossius, Baader, E. Schmidt, Mühry* führten diesen Gedanken weiter aus, und *Carpenter* suchte die Möglichkeit, dass es sich so verhalte, durch ein besonderes Experiment klar zu machen. *An der Möglichkeit, dass eine durch ungleiche Erwärmung verschiedener Stellen des Meeres bewirkte Niveauveränderung Ströme hervorrufe, darf nun auch in der That nicht gezweifelt werden.* Die Frage ist nur, ob die minimale Geschwindigkeit, welche nach Versuch und Rechnung einem so entstandenen Strome zukommt, irgendwie zu den an der grossen Mehrzahl der wirklichen Meeresströmungen erkannten Werten stimme, und dies ist nicht der Fall. Aus den Untersuchungen von *Haughton* und *Reynolds* folgt, dass, wenn zwischen Aequator und Pol eine auf thermische Verschiedenheit zurückzuführende Niveaudifferenz von

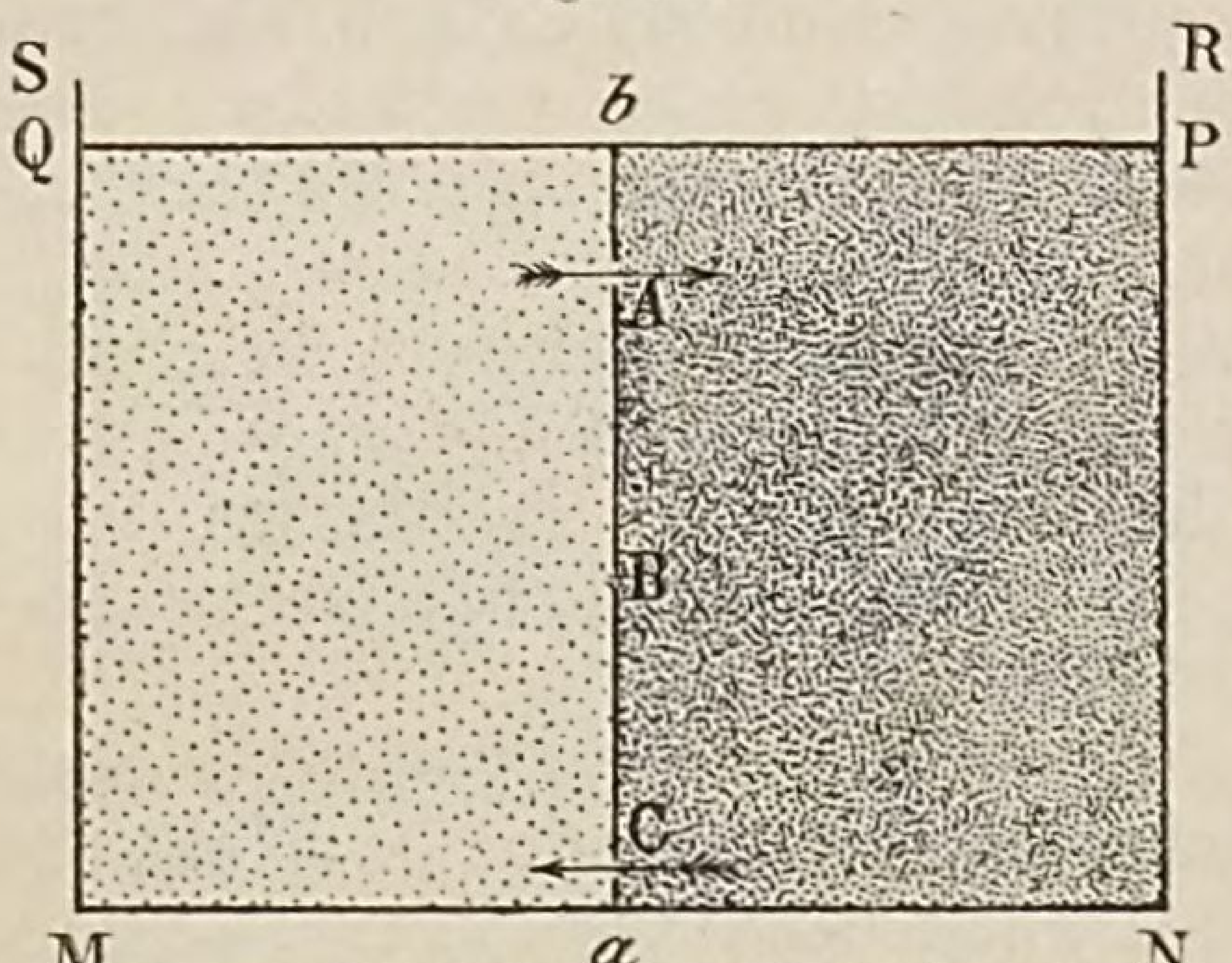
[1]) Auf unserer Strömungskarte (*Fig. 101*) sind einzelne aus dem nördlichsten Meere in die Baffins-Bai herabgesendete Stromfäden bemerkbar, welche sich später der grossen Labradorströmung einfügen. Sie stellen vermutlich die Ausläufer jener die eigentliche Zirkumpolarregion durchmessenden Strömung dar.

[2]) Wir meinen damit die von *Ekman* entdeckten *Reaktionsströme*, die sich da einstellen, wo Flüsse von namhafterer Wassermenge sich in das Meer ergiessen. Teils von der Seite her, teils auch als ein deutlich erkennbarer Unterstrom wenden sich Kompensationsströme gegen die Mündungsbucht resp. gegen das Delta, aus welchem der Fluss hervorkommt. Genügen die hiefür vorhandenen Wassermengen nicht, so können sogar Auftriebsströme aus der Tiefe aspiriert werden. Beim Vorhandensein von Bodenschwellen im Meere können sich auch auf freier See solche Gegenströmungen bilden, wie dies von *Mohn* in den subpolaren Gebieten der Nordsee bemerkt worden ist.

1,4 m besteht, die gegen den Pol gerichtete Ausgleichungsströmung nur etwa eine Stundengeschwindigkeit von 1½ m erreicht wird; dieselbe ist so gering, dass sie sich unter gewöhnlichen Verhältnissen der Beobachtung gänzlich entzieht. Für die grossen Bewegungen in den Weltmeeren ist somit diese Art der Erklärung jedenfalls unzureichend.

II. *Die Theorie der Dichte-Ausgleichung.* Der Graf *Marsigli*, dem man ein für die Physik des Meeres recht bedeutsames Werk über den Bosporus verdankt[1]), suchte die in Meerengen stattfindenden Strömungen durch ein Experiment im Sinne der *Fig. 102* zu erläutern. *MNRS* ist ein viereckiges, durch eine vertikale Scheidewand *ab* in zwei ganz gleiche Teile zerlegtes Gefäss, dessen eine Hälfte bis zum gemeinsamen Niveau *PQ* mit spezifisch leichterer, dessen andere Hälfte mit spezifisch schwererer Flüssigkeit gefüllt ist. Nachdem man das Ganze einige Zeit sich selbst überlassen, prüft man mittelst eingestreuter Schwimmkörperchen die Wasserbewegung in der unmittelbaren Nähe der drei Oeffnungen *A*, *B*, *C*, welche resp. ganz oben an der Scheidewand, in deren Mitte und an ihrem unteren Ende angebracht sind. Da sieht man dann, dass bei *A* ein steter Wasserstrom aus dem minder dichten in das dichtere, bei *C* aber ein ebensolcher aus dem dichteren in das weniger dichte Mittel übergeht, während bei *B* fast absolute Bewegungslosigkeit herrscht[2]). Solchergestalt kommen zweifellos die im Bosporus[3]), der Gibraltar- und Babelmandebstrasse u. s. w. beobachteten Oberflächenströmungen zustande, und auch die südlich des Peloponneses (S. 319) hinziehende Strömung dürfte *Partsch* zufolge keine andere Ursache haben. Reiches Material zur Erforschung dieser reinen Kompensationsströme, welche die durch

Fig. 102.



Spezifisch leichteres Spezifisch schwereres Wasser.

[1]) *L. F. Conte de Marsigli, Osservazioni intorno al Bosporo Tracio ovvero Canale di Constantinopel*, Rom 1681.

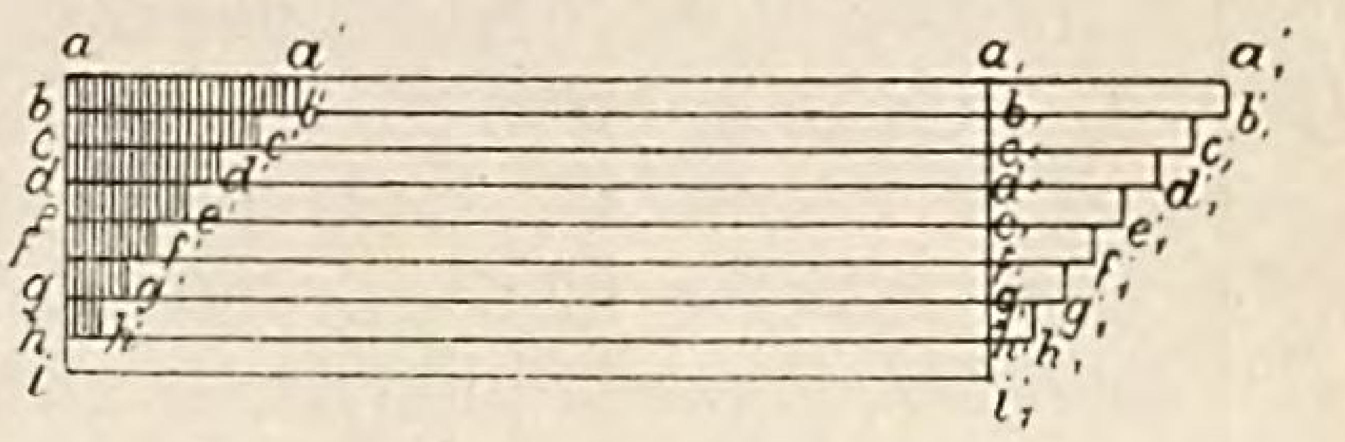
[2]) Man sieht, dass dieser Versuch sich wesentlich mit jenem deckt, den man zur Verdeutlichung des Wesens der *Zugluft* häufig vorführt. Man öffnet die aus einem geheizten Raume *A* in einen kalten Raum *B* führende Thüre ein wenig und hält nun ein brennendes Licht an drei Stellen — oben, mitten, unten — an die Thürspalte. Die flackernde Flamme zeigt dann an, dass oben die Luft von *A* nach *B*, unten von *B* nach *A* fliesst, während in der Mitte das Licht mit ruhiger Flamme brennt.

[3]) Eine ausgedehnte Forschungsreihe, um deren Zustandekommen sich zwei russische Nautiker, *Makarow* und *v. Maydell*, verdient gemacht haben, konnte die von *Marsigli* aufgestellten Hypothesen über die pontisch-ägäischen Wechselströmungen in allen wesentlichen Punkten bewahrheiten.

ungleichen Salzgehalt verschiedener Meeresteile bedingten Druck- und Niveauunterschiede wegzuschaffen bestrebt sind, hat ferner *Mohn* bei seinen Studienfahrten in den nordischen Meeren gesammelt.

III. *Die Adhäsions- und Reibungstheorie.* Gelegentliche Andeutungen *Kants* führten dazu, die mit den herrschenden Winden korrespondierenden Meeresströmungen als *Driftströmungen* anderen translatorischen Bewegungen gegenüberzustellen. *Rennell, J. Herschel, Croll* u. a. sprachen sich in diesem Sinne aus, allein erst *Zöppritz* vermochte auf analytischem Wege diesen Parallelismus wissenschaftlich zu begründen und zugleich zu zeigen, *dass sämtliche grosse ozeanische Zirkulationssysteme ausnahmslos diesen Driftströmungen zuzurechnen sind.* Und zwar ist der Prozess ein solcher, wie ihn *Fig. 103* zu versinnlichen bestimmt ist. Man denke sich eine Anzahl sehr dünne Platten, z. B. Papierbogen, so auf einander gelegt, dass sie zusammen ein rechtwinkliges Parallelepipedum ausmachen: aa_1i_1i sei dieses, und aa_1b_1b, bb_1c_1c, cc_1d_1d, dd_1e_1e, ee_1f_1f, ff_1g_1g, gg_1h_1h, hh_1i_1i seien die einzelnen Schichten. Alsdann werde auf die oberste Fläche aa_1 ein kontinuierlicher schwacher Bewegungsimpuls ausgeübt, welcher die obere Schicht von links nach rechts verschiebt; diese Bewegung teilt sich, da längs der Trennungsflächen eine gewisse Reibung stattfindet, nach unten mit, und wenn nur der Impuls lange genug gewirkt hat, wird sich die Tendenz zur Verschiebung nach rechts bis zur untersten Lage fortgepflanzt haben: die einzelnen Platten haben folgeweise diese Lagerung angenommen: $a'a'_1b'_1b'$, $b'b'_1c'_1c'$, $c'c'_1d'_1d'$, $d'd'_1e'_1e'$, $e'e'_1f'_1f'$, $f'f'_1g'_1g'$, $g'g'_1h'_1h'$, hh_1i_1i. Aus der parallelepipedischen Anordnung ist das ganze System in die durch die Zeichnung dargestellte terrassenförmige Anordnung übergegangen.

Fig. 103.



Ganz ebenso denken wir uns nun eine Wassermasse von beliebiger Tiefe in unendlich viele, unendlich schmale, vertikal sich gegenseitig überdeckende Platten zerlegt. Die bewegte Luft, der Wind, adhäriert an der äusseren Wasserfläche und zwingt dadurch die oberste Platte, diese Bewegung in angenähert gleichem Sinne[1] mitzumachen; die innere Flüssigkeitsreibung bewirkt, dass die oberste und die zunächst nach unten auf sie folgende Wasserplatte dem Antrieb ebenfalls, wennschon in schwächerem Masse, folgen, und so dringt der Antrieb von oben in immer grössere Tiefen vor. Aus den Umformungen, welche *Zöppritz* mit den massgebenden zusammengehörigen Differentialgleichungen vorgenommen hat, folgt aber unwiderleglich das nachstehende Theorem:

[1]) Ganz genau gleich gerichtet wird die Bewegung von Luft und Wasser nur dann sein, wenn die Luftströmung sehr konstant und zugleich sehr mächtig ist. Auf der Ostsee hat *Dinklage* eine ganze Anzahl von Winkeln zwischen Windrichtung und Richtung des Driftstromes gemessen und ist dabei zu Beträgen gekommen, welche zum teile weit über 45° hinausgehen.

Einerlei, wie stark die längs der Oberfläche hinstreichende Luftströmung ist, wenn sie nur zu den Dauerwinden gehört, dann dringt, sobald nur ausreichend grosse Zeiträume zur Verfügung stehen, der Oberflächenimpuls, durch Adhäsion und interne Reibung fortgepflanzt, in noch so grosse Tiefen ein und versetzt Wassermassen von jedweder Mächtigkeit in den Zustand stetiger Translation; umgekehrt dringt der Einfluss auch der stärksten Orkane, falls dieselben vorübergehender Natur sind, nur in ganz geringe Tiefen ein.

Diese Theorie erklärt in vortrefflicher Weise die grossen, an die unaufhörlich sich gleichbleibenden Passatwinde sich anschliessenden Wasserzirkulationen im Atlantischen und Pazifischen Meere; sie erläutert nicht minder zufriedenstellend den Strömungscharakter des nördlichen Indischen Ozeanes, in welchem, als von Halbjahrwinden beherrscht, keine konstanten, sondern lediglich die uns (S. 320) bekannten *alternierenden* Driftströmungen sich bilden können. Selbstverständlich bleibt noch viel zu erforschen übrig. Die *Stromteilung,* welche man z. B. (S. 316) östlich von der brasilischen Küste konstatiert, beweist, dass auch die *Küstenkonfiguration* ein zu beachtender Faktor ist; die an sich zu erwartende Thatsache, dass *die Erdumdrehung* ablenkend auf die anderweit ausgelösten Strömungen einwirke, ist durch die Arbeiten von *Krümmel* und *P. Hoffmann* vollauf bestätigt worden. Der Erstere hat ferner auch gezeigt, dass *das Bodenrelief* und *die Interferenz verschiedener Ströme* von Einfluss sein können. Vor allem aber steht noch die Frage im Vordergrunde, aus welchem Vorrate die Gewässer sich ergänzen, wenn durch die an der Oberfläche doch immer besonders mächtigen Strömungen ungeheure Wassermassen nach entfernten Gegenden fortgeführt werden [1]).

XIV. Die Gewässer des Festlandes.

Allgemeine hydrographische Bemerkungen. Von den Ozeanen finden wir den naturgemässen Weg zur Betrachtung der Lithosphäre, indem wir zuerst den *Binnengewässern,* einerlei ob stille stehend oder fliessend, unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Darauf, ob dieselben *salzig, brackisch* oder *süss* sind, braucht ein besonderes Gewicht nicht gelegt zu werden, schon aus dem Grunde nicht, weil

[1]) Hier spielt besonders die noch wenig aufgeklärte und deshalb auch von uns hier nicht eingehender behandelte *Vertikalzirkulation der Ozeane* eine Rolle, zu deren Studium immerhin durch *Zöppritz* und *Krümmel* der Grund gelegt ist. Dieselbe bewirkt, *dass polares Wasser in der Tiefe nach niedrigen Breiten abströmt, wo dann eine Aspiration gegen oben stattfindet. Buchanan* bringt mit diesem Aufsteigen des kalten Wassers in den Aequatorialgegenden auch die früher (S. 290) besprochene Thatsache in Verbindung, dass die Osthälfte der Ozeane gewöhnlich weit weniger warm als die Westhälfte befunden wird. Neuerdings hat *Puff* das Aufquellen des Polarwassers am Aequator ganz bestimmt nachgewiesen.

Salzwasser, das nicht mit dem freien Meere in Verbindung steht, mit der Zeit unabwendbar einem Aussüssungsprozesse anheimfällt, der sich ja auch (Abschnitt XII) in solchen Meeresteilen, deren Zufuhrstrassen keinen namhaften Querschnitt (S. 289) haben, stets bemerklich macht. Wohl aber haben wir auch bei den Binnengewässern sehr verschiedene Kategorien auseinanderzuhalten, mit denen wir uns gleich jetzt bekannt machen wollen. Dabei wird aber zugleich eine beschränkende Bestimmung getroffen werden müssen. Um nämlich mit den Abschnitten XVI und XVII nicht in Konflikt zu geraten, welche allen auf die Zerstörung der Erdfeste und den aus ihr sich ergebenden morphologischen Fragen gerecht werden sollen, sehen wir vorläufig von allen Beziehungen zwischen Wasser und Land, welche irgendwie kausaler Natur sind, gänzlich ab und setzen als hodegetischen Gesichtspunkt diesen fest: *Im gegenwärtigen Abschnitte soll ausschliesslich das hydrologische Moment seine Erörterung finden.* Die Entstehung der Seen, die Eingriffe des strömenden Wassers in das umliegende Terrain u. s. w., alle diese Dinge gehören nicht hierher, und es ist damit das Gebiet, auf welchem wir uns zu bewegen haben, enger, aber auch sicherer begrenzt, als dies in anderen Werken gemeiniglich geschieht.

An die erste Stelle treten naturgemäss die *Binnenseen*, denen ja sehr viele Eigenschaften mit dem Meere gemeinsam sind. Nicht selten ereignet es sich, dass sich über dem Wasser der Seen eine dünne, aus Erde und Pflanzenbestandteilen gebildete Decke wölbt; dann ist der See in einen *Sumpf* oder auch in ein *Moor* übergegangen, und auch diese beiden Objekte erfordern von seiten der geographischen Forschung besondere Beachtung. Eine gewisse Aehnlichkeit mit einem Sumpfe können die *Grundwasseransammlungen* aufweisen, welche ebenfalls nur durch eine Schicht von wechselnder Mächtigkeit von der Oberfläche getrennt sind; nur stagniert in ihnen das Wasser nicht, sondern es befindet sich in einem Bewegungszustande, der aber von demjenigen eines Baches oder Flusses verschieden ist. Die strömenden Gewässer werden gespeist von den *Quellen*, von denen also naturgemäss auch das Studium ersterer seinen Ausgang zu nehmen hat; besondere Formen der Quellen, wie die *heissen* und *kalten Springquellen*, sowie die aus dem Meere ihren Nahrungsstoff beziehenden Quellen (*Meermühlen*), müssen auch ihre spezielle Behandlung finden. *Bäche und Flüsse* sind die Formen, in denen das fliessende Wasser sich unserem Auge darstellt, und wenn dieselben aus den ihnen für gewöhnlich von der Natur vorgezeichneten Grenzen heraustreten, so hat man es mit den neuerdings erst von der physikalischen Erdkunde eingehender gewürdigten *Ueberschwemmungen* zu thun.

Binnenseen. Ein Hohlraum der Erdoberfläche wird nicht selten von meteorischem und rinnendem Wasser ausgefüllt, und alsdann wird ersterer ein *See* genannt. Es kann sich ereignen, dass das Wasser nach einiger Zeit sich unterirdische Abflusswege eröffnet, oder dass die Verdunstung dem See ein grösseres Quantum

von Wasser entzieht, als ihm seine Zuflüsse zu liefern imstande sind; alsdann wird der See *austrocknen*, und lediglich die Mulde, in welcher er sich früher befand, erinnert dann noch an sein dereinstiges Vorhandensein. Namentlich im Hochgebirge sind solche Vorkommnisse gar nichts seltenes [1]). Wenn es sich fragt, wie die Depression sich gebildet habe, welche eine Zeitlang den Anblick eines Sees gewährte, so ist es natürlich ganz gleichgiltig, ob augenblicklich Wasser vorhanden ist, oder ob es fehlt, während für jetzt dieses Kennzeichen eines Sees das eigentlich entscheidende ist. Es muss also angenommen werden, dass der Grund eines Sees die Eigenschaft habe, *undurchlässig* gegen Flüssigkeiten zu sein. An und für sich braucht auch sehr festes, wenig poröses Gestein diese Eigenschaft nicht zu besitzen; es bildet sich dieselbe vielmehr in der Mehrzahl der Fälle erst nach und nach heraus, indem eine Art von *Verkittung* der mancherlei Risse und Sprünge stattfindet, welche weder im anstehenden Gesteine noch in Verwitterungsschutt zu fehlen pflegen. Nach *Heer* nennt der Schweizer diesen Kitt die *Seekreide*, während *Peschel* ihn mit einem guten Namen als *geognostische Verschlussmembran* bezeichnet [2]). Ohne eine solche würden weder Seen noch Sümpfe eine Dauerexistenz führen können, und auch den Betten der Flüsse darf sie nicht gänzlich fehlen.

Binnenseen, deren Wasser einen salzigen Beigeschmack hat, können mitunter (s. u. in Abschnitt XVIII) als Ueberbleibsel eines in früherer Zeit ausgedehnteren Meeres betrachtet werden; vielfach wird aber auch die einfache Thatsache einen ausreichenden Erklärungsgrund abgeben, dass unterirdische Salz- oder Gipslager vom Wasser ausgelaugt worden sind. Den verhältnismässig geringen Salzgehalt des Kaspischen Meeres will *v. Baer* darauf zurückführen, dass alles salzhaltige Wasser durch einen engen Zuleitungskanal in den eine *natürliche Salzpfanne* darstellenden *Karabugas-Golf* abströme, wie denn in der That in geringerer Entfernung von dieser Stelle das Wasser viel salziger befunden wird, als in grösserer. Die Salzwasserseen, deren Grösse minder beträchtlich ist, werden nach und nach vollkommen ausgesüsst, teils durch Abfuhr, teils durch Verdunstung. Letztere muss in den Steppen Zentralafrikas eine sehr bedeutende sein, und ihr ist es wesentlich zuzuschreiben, dass der *Tsade-See*, der keinen regelmässigen Abfluss besitzt, doch im wesentlichen süsses Wasser hat. Beide Ursachen wirken zusammen bei den bekannten *Mansfelder Seen* in der Goldenen Aue. Man sprach ehemals, und zwar mit vollem Rechte, von einem *süssen*

[1]) Als Beispiel sei genannt der „Truckana See" (*Lago secco*) im lessinischen Zimbernlande. In allen älteren Reisehandbüchern ist ferner eine kleine Gruppe von Seen auf dem Bozener Ritten in der Nähe von Wolfsgruben aufgeführt, aber im Frühjahr 1890 waren dieselben sämtlich verschwunden, und selbst ihr früherer Ort war nicht durchweg leicht zu erkennen.

[2]) Auch das Wort *Alm* ist nach *v. Fritsch* hiefür im Dialekte gebräuchlich. Muschelschalen und Diatomeenpanzer bilden die wesentlichsten Bestandteile der Seekreide, welche sich also grösstenteils aus organischen Ueberresten zusammensetzt und am besten mit dem uns von früher her (S. 75) bekannten Kieselguhr in Parallele gestellt werden kann.

und einem *salzigen See*, aber im Laufe der Zeiten ist, wie *Ule*s vor wenigen Jahren vorgenommene Analyse lehrte, diese Unterscheidung derart hinfällig geworden, dass heutzutage dem süssen See ein wenn auch nur um ein geringes höherer Salzgehalt zukommt.

Wenn bei Salzseen das Wasser vollständig abgelaufen oder verdunstet ist, so bleibt eine *Salzwüste*, d. h. eine *mit weissen Salzeffloreszenzen bedeckte Ebene* zurück [1]). Auch mitten in der gewöhnlichen Sandwüste entstehen, wie *v. Zittel* am Beispiele der Sáhara nachgewiesen hat, derartige Bildungen; insbesondere sind es die in der Landdepression südwestlich von der Kleinen Syrte gelegenen *algerisch-tunisischen Schotts*, bei denen zum teile die Verwandlung, und zwar zuerst in einen *Salzsumpf*, nachher aber in eine Salzwüste nur als eine Frage der Zeit erscheint. Auch die *Kalahari* ist übersäet mit den als *Braakpans* bekannten, in einem mehr oder minder fortgeschrittenen Zustande der Austrocknung sich befindenden Salzseen, von deren allgemeinem Charakter auch der ziemlich grosse *Ngami-See* keine Ausnahme macht [2]). Die räumlich grösste Salzwüste haben wir in Persien zu suchen, wo sie im ganzen, d. h. ohne dass ihre sämtlichen Teile unter sich zusammenhingen, vielleicht den sechsten Teil des Landes in anspruch nimmt. Wenn das früher im Wasser suspendierte Salz eine gewisse chemische Sonderbeschaffenheit hat, dann kann von *Natron-Seen* (Wan-See, Ungarische Seen), *Borax-Seen* (in Zentralasien und auf den abflusslosen Hochplateaus der westamerikanischen Gebirge) und *Chlormagnesium-Seen* (Totes Meer) gesprochen werden.

Die generellen Fragen, welche die Physik der stehenden Gewässer stellt, können der Natur der Sache nach von denjenigen, die wir bei der Statik der Meere kennen lernten, nicht verschieden sein. Wir fragen nach der geographischen Verteilung der Binnenseen [3]), nach ihrer Grösse, Tiefe und Bodenform, nach den Wärme-, Färbungs- und Durchsichtigkeitsverhältnissen. Und fernerhin interessiert uns auch die Bewegung des Wassers in einem Binnensee, von der wir ja allerdings zu erwarten haben, dass sie sich durchgehends nur als ein verkleinertes Abbild der im Meere vor sich gehenden, uns bereits bekannten Bewegungen darstellen wird. Frei-

[1]) Auf die zwischen *Pošepny* und *Tietze* bezüglich der Salzlager und ihrer Entstehung im allgemeinen geführte Kontroverse kann hier nicht eingegangen werden, doch hat der letztgenannte zweifellos recht, wenn er eine sehr verschiedenartige Bildung solcher Lager vertritt. Vgl. auch o. S. 283.

[2]) Die unlängst durch die Blätter gegangene Nachricht, dass dieser See völlig vertrocknet sei, hat sich übrigens als eine arge Uebertreibung herausgestellt.

[3]) An sich seenlose Bezirke von namhafter Ausdehnung scheint es nicht auf der Erde zu geben, sobald man nur das Wort See nicht zu enge fasst und auch kleinere — von der Natur ohne Zuthun des Menschen geschaffene — Tümpel und Weiher mit einrechnet. Jenen sogenannten *Teichen* z. B., welche eine Merkwürdigkeit Niederschlesiens und der Lausitz darstellen, würde man anderwärts die übliche Bezeichnung sicherlich nicht vorenthalten. Die finnische Granitplatte ist mit grossen und kleinen Seen geradezu übersäet, und auf der Hebriden-Insel Lewis gibt es, einer Zeichnung *Geikie*s zufolge, deren so viele, dass man den Versuch einer Zählung nicht wagen wird.

lich sind wir noch weit davon entfernt, auf alle diese Fragen eine befriedigende Antwort erteilen zu können, da es hiezu noch zu sehr an Material fehlt. Kaum einen zweiten See gibt es, der so genau erforscht wäre, wie dies, dank den unausgesetzten Bemühungen von *Dufour* und *Forel*, vom *Genfer-See* behauptet werden darf.

Die Tiefe der Seen wird mittelst ähnlicher Apparate gemessen, wie wir diese in der Ozeanographie kennen lernten, doch da es in unserem Falle nur auf ungleich mässigere Tiefen ankommt, so kann auch das gewöhnliche Lotungsverfahren als ganz zweckdienlich gelten. Nur ist es beim Loten von Wichtigkeit, den Ort, an welchem das Senkblei ins Wasser gelassen wird, mit möglichster Schärfe gegenüber dem Ufer festzulegen [1]). Verfügt man über eine hinlängliche Menge von Einzelmessungen, so verzeichnet man die *Isobathen des Seegrundes*, die dann gleich auch Aufschluss geben über die Konfiguration des letzteren, über die Böschungsverhältnisse des Ufers, über das etwaige Vorhandensein sublakrustrer Rücken u. dgl. Darüber, ob zwischen dem *Areal* eines Sees und seiner *mittleren Tiefe* (S. 274) ein gewisses Verhältnis besteht, lässt sich im allgemeinen nichts aussagen. Wenn man bedenkt, dass ja das Gestade sich nur selten in raschem Sturze, meist aber ganz allmählich nach dem Inneren hin senkt, so wird man erwarten dürfen, *dass grossem Flächeninhalte stets auch eine beträchtliche Maximaltiefe entspricht*. Eine sehr brauchbare Tabelle *v. Klödens* [2]) zeigt z. B., dass das Kaspische Meer, der grösste aller Binnenseen, auch der tiefste ist; einem Areale von 439418½ qkm steht eine grösste Tiefe von 900 m gegenüber. Sehr tief sind vorzüglich die *Alpenseen*, wiewohl deren sagenhafte Unergründlichkeit vor den Messungen *Simonys*, *v. Jollys*, *Geistbecks*, *Baybergers* u. a. nicht standgehalten hat, doch liegt deren Grund immerhin teilweise unter dem Niveau des nächsten Meeres, während bei anderen die Differenz — Meereshöhe minus Seetiefe — zwar positiv, aber doch nur eine kleine Zahl ist. Nachstehend stellen wir einige Werte dieser Art zusammen:

Name des Sees	Höhe des Spiegels über dem Meere	Maximaltiefe	Differenz
Boden-See	398 m	65,6 m	+ 332,4 m
Genfer-See	375	309	+ 66
Iseo-See	191	300	— 109
Garda-See	64	293	— 229
Lago di Lugano . .	271	279	— 8
Lago maggiore . . .	197	854	— 657

[1]) Am sichersten erreicht man dies Ziel durch jene Operation, welche der Feldmesser als das *Rückwärtseinschneiden* bezeichnet. Vom Kahne aus misst man an einem geteilten Kreise, der bloss in ganze und halbe Grade geteilt zu sein braucht, die Winkel, welche die nach drei festen Punkten des Ufers — Kirchtürmen oder absichtlich angebrachten Signalen — gezogenen Gesichtslinien unter einander einschliessen; da man die gegenseitige Lage der Signalpunkte der Spezialkarte entnehmen kann, so ist ein Viereck gegeben, als dessen vierter Eckpunkt eben der gesuchte Ort des Beobachters erscheint.

[2]) Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 19. Band. S. 416 ff.

Die Temperatur der Seen schwankt nur in den mehr oberflächlichen Schichten stärker, während sie, wenigstens wenn die Tiefe gross genug ist, von einer gewissen Grenze nach unten zu *eine entschiedene Neigung zur Konstanz* bekundet. Der Grund dafür ist in der *vertikalen Zirkulation* des Seewassers zu suchen, die *Pfaff* am Achen-See wirklich nachzuweisen in der Lage war; das aufsteigende Wasser erwärmt sich bis zu einer Temperatur von 4^0, erlangt dann seine grösste Dichte und sinkt nunmehr wieder unter, um anderen nach oben strebenden Wassermassen den Platz zu räumen. In grösserer Tiefe behält der See eine von 4^0 wenig abweichende Temperatur. Um die Abnahme der Temperatur mit der Tiefe oder, wie man auch sagen kann, den *Gradienten der Isothermobathen* (S. 287) bequem zu übersehen, teilen wir nach *Le Conte* einige Zahlen für den der Sierra Nevada Nordamerikas angehörigen *Lake Tahoe* mit, welcher 1900 m über dem Meere gelegen ist und auf 500 qkm Oberfläche 500 m Maximaltiefe besitzt. Hier gestaltet sich die Abkühlung wie folgt:

Tiefe in m	Temperatur	Tiefe in m	Temperatur	Tiefe in m	Temperatur	Tiefe in m	Temperatur
0	19,4^0 C.	61	8,9^0 C.	122	7,2^0 C.	235	5,0^0 C.
15	17,2	76	8,3	146	6,9	459	4,0
30	12,8	91	7,8	152	6,7	500	4,0
46	10,0	101	7,5	183	6,1	—	—

Dass lokale Ursachen, Einströmung von Süsswasser, am Boden befindliche Quellen, aufsteigende und zerspringende Gasblasen u. dgl. das Bild trüben, die regelmässige Temperaturabnahme verlangsamen und beschleunigen können, liegt auf der Hand.

Der Umstand, dass die Temperatur der unteren Schichten mit derjenigen übereinstimmt, bei welcher süsses Wasser — wegen des Salzwassers s. S. 285 — seine grösste Konzentration besitzt, erklärt auch, *weshalb tiefere Wasserbecken niemals bis zum Grunde zugefrieren*, weshalb also auch das tierische Leben in Binnenseen selbst durch die härtesten Winter nicht allzu sehr geschädigt wird. Nahezu sämtliche Seen können sich auf ihrer Oberfläche mit einer zusammenhängenden Eisrinde überkleiden, *zugefrieren*, doch bedarf es dazu meist sehr tiefer Temperaturen. So vollzog sich die Uebereisung des Boden-Sees 1880 und dann erst wieder in dem furchtbar kalten Januar des Jahres 1891 sehr langsam, während beim Genfer-See nach *Forel* ein gänzliches Zugefrieren überhaupt noch niemals konstatiert worden ist. Darauf dass die „kalten" Seen, bei denen eine weit tiefere Durchschnittstemperatur an der Oberfläche gemessen wird, als bei den sogenannten „warmen", rascher gefrieren, macht *Geistbeck* besonders aufmerksam. Eben derselbe hat an den oberbayerischen Seen zuerst *konsequente Eisdickenmessungen* angestellt und dabei gefunden, dass altes Ufereis — man muss wohl zwischen *Ufereis*, eigentlich *lakustrem Eis* und *Treibeis* unterscheiden — eine Dicke bis zu 70 cm erreichen kann.

Von der Farbe der Seen gilt im grossen und ganzen das gleiche, was uns oben (S. 281) von der Farbe des Wassers überhaupt bekannt geworden ist. Die Seen erscheinen entweder *blau* oder *grün*; manche, wie der Lago maggiore, lassen in verschiedenen Teilen auch eine verschiedene Färbung erkennen. *Wallmann*, dem wir eine sehr umfassende Studie über diesen Gegenstand verdanken, merkt auch die eigentümlich verschieden gefärbten Ringe an, welche man nicht selten an der Oberfläche, zumal der alpinen Seen wahrnehmen kann. Jedenfalls hat (S. 316) auch die Temperatur einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Farbe. Aus einer von *Soret* am Genfer See durchgeführten Beobachtungsreihe erhellt, dass gelöste organische oder mineralische Stoffe die kurzwelligen Strahlen absorbieren, während das Wasser als solches die langwelligen zurückhält, und da alsdann nur die Strahlen von mittlerer Wellenlänge in das Auge gelangen, so wird diesem der Eindruck einer grüngelblichen Farbe, welche in der That bei kleinen Seen nichts seltenes ist.

Nur wenig, und erst in neuester Zeit, ist die Durchsichtigkeit des Seewassers geprüft worden. Versuche mit der *Diaphanitätsscheibe* (S. 282) gewähren keine sehr zuverlässigen Resultate, und es ist deshalb sehr zu billigen, dass bei den von *Soret, Forel* und *Sarasin* angestellten Messungen das weisse Papier *durch das Licht einer elektrischen Lampe* ersetzt wurde. Es fand sich, dass *diffuses Licht* im Wasser viel dickere Schichten durchdringt, als *direktes*, ja es wurde das erstere bis in ungefähr doppelt so grosse Entfernung noch deutlich erkannt. Die genannten Forscher versenkten dann weiter an der tiefsten Stelle des Genfer Sees (am savoyischen Ufer) einen mit *Bromsilbergelatine-Platten* armierten photographischen Apparat, der in jedem Zeitpunkte zur automatischen Oeffnung gebracht werden konnte, und untersuchten die Wirkung des durch Wasser hindurchgegangenen Lichtes auf die empfindliche Materie. In 120 m Tiefe war noch eine deutliche Wirkung erkennbar, während 50 m tiefer die Platte nur noch ebenso reagierte, wie sie dies sonst in einer mondlosen, aber sternenhellen Nacht thut.

Von den Bewegungen des Wassers in Binnenseen können lediglich die *Wellenbewegungen* ein lebhafteres Interesse in anspruch nehmen[1]). Bei starkem Winde wird die Oberfläche des Sees in Verbindung mit den zunächst unter ihr befindlichen Schichten in fortschreitende Schwingungen versetzt, deren Amplituden gross genug werden können; Wellen, welche ihren Gischt bis über den Schornstein der Dampfboote emporschlagen lassen, sind schon auf

[1]) Seen, durch welche ein Fluss hindurchströmt, müssen natürlich Partien in sich schliessen, in deren Bereiche das Wasser sich in fortschreitender Bewegung befindet. Aber auch der Wind kann kleine Wassermassen derart in Bewegung setzen, dass sich an der Oberfläche eine der Windrichtung entsprechende Translation, in der Tiefe eine ebensolche entgegengesetzte und zum Ausgleiche je noch eine auf- und absteigende Vertikalströmung herausbildet. Dies haben *Forel*s sehr lehrreiche Beobachtungen an einem kleinen Moränensee der Schweiz ausser Zweifel gesetzt.

dem Boden-See gerade keine Seltenheit, und auf den grossen Seen Asiens und Amerikas gibt es ebenso regelrechte Sturmwellen, wie irgendwo auf dem freien Meere. Auch von den *Seiches* ward oben (S. 300) bereits Notiz genommen, aber während diese stehenden Schwingungen auf dem Meere nur gelegentlich, und nur in abgeschlossenen Becken, auftreten, sind sie auf den Binnenseen recht eigentlich zu hause. Am Genfer See, dieser klassischen Heimstätte der Seenphysik, hat man sie zuerst beobachtet, und hier sind auch zuerst feine Messapparate zur selbstthätigen Aufzeichnung dieser Bewegungen aufgestellt worden [1]; nach und nach aber wurde von einer Menge von Seen ähnliches bekannt. *Le Hontan* beobachtete dergleichen schon 1689 auf den grossen kanadischen Seen [2], und es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass, wenn man denselben einen Anteil an den grossen Gezeitenbewegungen, die durch Mond und Sonne veranlasst sind, zuschrieb, eine einfache Verwechslung zweier formell sehr ähnlichen, der Ursache nach aber sehr verschiedenen Bewegungen vorlag (S. 306). Die Seiches sind seitdem am Vierwaldstätter-See, am Boden-See, wo die *„Grundwellen"* zu den mit Recht gefürchteten Dingen gehören, am Ochrida-See in Albanien, an den grossen Binnenseen Mecklenburgs und Schwedens beobachtet worden und werden wohl nirgends ganz fehlen. Von ihrem Auftreten in geschlossenen Meeresbecken ist oben schon (S. 301) die Rede gewesen.

Gemeinhin stellen die Seiches *einknotige* Wellen dar, so dass also, wenn wir uns einen Vertikaldurchschnitt durch die Oberfläche des Sees gelegt denken, die so entstehende Wellenlinie nur einen einzigen *Knotenpunkt* mit der Horizontalen gemein hat. An den beiden Ufern erreicht abwechselnd die Hebung und die Senkung ihren grössten Wert. *Sarasin* will jedoch am Limnographen auch *zweiknotige* Wellen bemerkt haben; in diesem Falle ist die Phase der Bewegung für die beiden einander gegenüberliegenden Uferpunkte die gleiche, und es sind zwei Ruhepunkte vorhanden.

Die Entstehungsursache der stehenden Wasserschwingungen muss zur Zeit noch als unbekannt gelten. Am nächsten würde ja die in der That mehrfach geäusserte Vermutung liegen, dass ein Erdstoss die Wasserfläche in Unruhe versetzt; nachdem jedoch *Forel* dargethan hat, dass die in der Nähe des Genfer Sees nichts weniger denn seltenen Erschütterungen des Bodens noch niemals eine Seiche ausgelöst haben, muss diese Erklärung von der Hand gewiesen werden. Ungleich wahrscheinlicher erscheint es, die Schwankungen des Seespiegels von Bewegungen in der Atmosphäre abhängig zu machen, und zwar muss nach *Ph. Plantamour* den *Fallwinden* (S. 243)

[1]) Man nennt diese Apparate *Limnographen* oder *Limnimeter*; die besten Ergebnisse erzielte man mit dem von *Sarasin* beschriebenen *„Limnimètre enrégistreur transportable"*.

[2]) Insbesondere *Ratzel* hat eine Reihe von Angaben über die Seiches auf dem Oberen und Michigan-See gesammelt. Aber auch andere Seen Nordamerikas geben Gelegenheit, diese merkwürdigen Bewegungen ihrer Oberfläche zu studieren, so z. B. der vorhin genannte Tahoe-See in Kalifornien.

ein erheblicher Anteil bei der Erzeugung ersterer zugeschrieben werden, wennschon nicht die alleinige Urheberschaft, indem es Seen gibt, an deren Ufern keine der zur Entstehung eines Fallwindes erforderlichen Bedingungen erfüllt ist.

Sümpfe und Moore. Mit richtigem Blicke hat *Varenius* auch diese Gebilde als eine selbständige Kategorie der physikalischen Erdkunde definiert; die von ihm gegebene Anregung hat aber wenig gewirkt, und es ist deshalb auf diesem Gebiete noch manches nachzuholen. Als *Sumpf (Morast, Bruch)* bezeichnen wir eine von Wasser grossenteils ausgefüllte Depression dann, wenn dieses keine eigentlich freie Oberfläche bildet, sondern wenn über dem Wasser eine dünne, durch Pflanzenwurzeln zusammengehaltene Oberfläche sich ausbreitet. In kalten Ländern gefriert der Sumpf im Winter und gewinnt dann einen ziemlichen Grad von Festigkeit, wie dies besonders die bekannten, von *Middendorff* näher erforschten *Tundren* beweisen, welche von den Gestaden des Weissen Meeres an den Nordrand der Erdteile Europa und Asien einsäumen [1]). Diese Tundra ist ein Meeres-Residuum, denn es sind in ihrem Bereiche von *Fr. Schmidt* und *v. Nordenskiöld* viele marine Versteinerungen tertiären Alters aufgefunden worden; diesen zufolge scheint das Meer, nach dessen Rückgang die ungeheure versumpfte Randzone übrig geblieben ist, von derselben Beschaffenheit gewesen zu sein, wie sie noch jetzt das Nördliche Eismeer hat. Es muss bemerkt werden, dass das Wort Tundra nicht sowohl eine *Bodenform*, als vielmehr eine *Vegetationsform* bezeichnet, weshalb man auch zwischen einer *Moos-* und einer *Flechtentundra* unterscheidet. Die Moose sind hauptsächlich durch *Polytrichum* und *Dicranum*, die Flechten durch *Cladonia* und *Cetraria* vertreten.

Vielfach neue Einblicke in die Morphologie der Sümpfe haben uns die geographischen Forschungen in Afrika vermittelt. Hierher gehören in erster Linie die von *Livingstone* mit diesem Namen belegten *Erdschwämme*, welche die ganze nähere Umgebung des Tanganjika-Sees erfüllen: ½ bis 2 km breite, 4 bis 20 km lange Wasserbehälter, niedrige Erhöhungen, welche, durch und durch porös, wie sie sind, sich mit Wasser vollgesogen haben und, wenn bei fortdauerndem Regen ihre Aufnahmefähigkeit zum Maximum gediehen ist, die lokalen Mittelpunkte grosser Ueberschwemmungen bilden. Eine andere neue Erscheinung ist uns durch die Angaben *Junkers* und *Casatis* bekannt geworden; dies sind die ausgedehnten *Flusssümpfe*, in der Sprache der Eingeborenen *Obä* genannt, welche sich

[1]) *Drude* (Handbuch der Pflanzengeographie, Stuttgart 1890. S. 310) gibt die nachstehend mitgeteilte Bestimmung: „Weit ausgedehnte Landstrecken sind mit an periodische Trocknis gewöhnten Arten von Flechten und Moosen bedeckt; sie sind nass zur Zeit der Schneeschmelze und bei jedem sommerlichen Niederschlage, der nicht zu lange fehlen darf, trocknen aber rasch oberflächlich ab.“ Die eigentlichen Tundren wechseln ab mit eingelagerten, wenig oder nicht versumpften, in saftigem Grün prangenden *Mooswiesen*; besonders auf der Halbinsel Kola ist dies nach *Grisebach* der Fall.

im Flussgebiete des Ituri-Aruvimi und des Uëlle-Obandschi zahlreich vorfinden und das Reisen in diesen Gegenden auf das äusserste erschweren. Die von unseren europäischen Morästen abgezogenen Begriffe passen nicht recht zu Sümpfen, deren Wasser sich in stetiger, wiewohl langsamer Bewegung befindet. Wir glauben die Obä nicht besser kennzeichnen zu können, als durch *Junkers* eigene Schilderung eines solchen Flusssumpfes. „Er erscheint auf den ersten Blick als eine über 1000 Schritt breite, mit 1 bis 2 Fuss hohem Grase bedeckte Niederung. Betritt man dieselbe, so senkt sich unter dem Fusse langsam der elastische Boden und steigt nach Aufheben des Fusses wieder empor. Dasselbe findet bei jedem Schritte vorwärts statt . . . Alle grösseren Tiere mit schmalem Hufe, Antilopen, Büffel, Elephanten ihrer Schwere wegen, sind, auf die Obä verirrt, verloren und fallen dem Neger, der sie bei Jagden dorthin treibt, zum Opfer . . . Die Obä sind demnach stabile, zusammenhängende, verfilzte Grasvegetation, die von fliessendem Wasser getragen wird. Sie haben in der Bildungsweise eine entfernte Aehnlichkeit mit den Grasbarren, den *Set*, im Nil.“ Letztere sind sehr eingehend von *Emin Pascha* beschrieben worden.

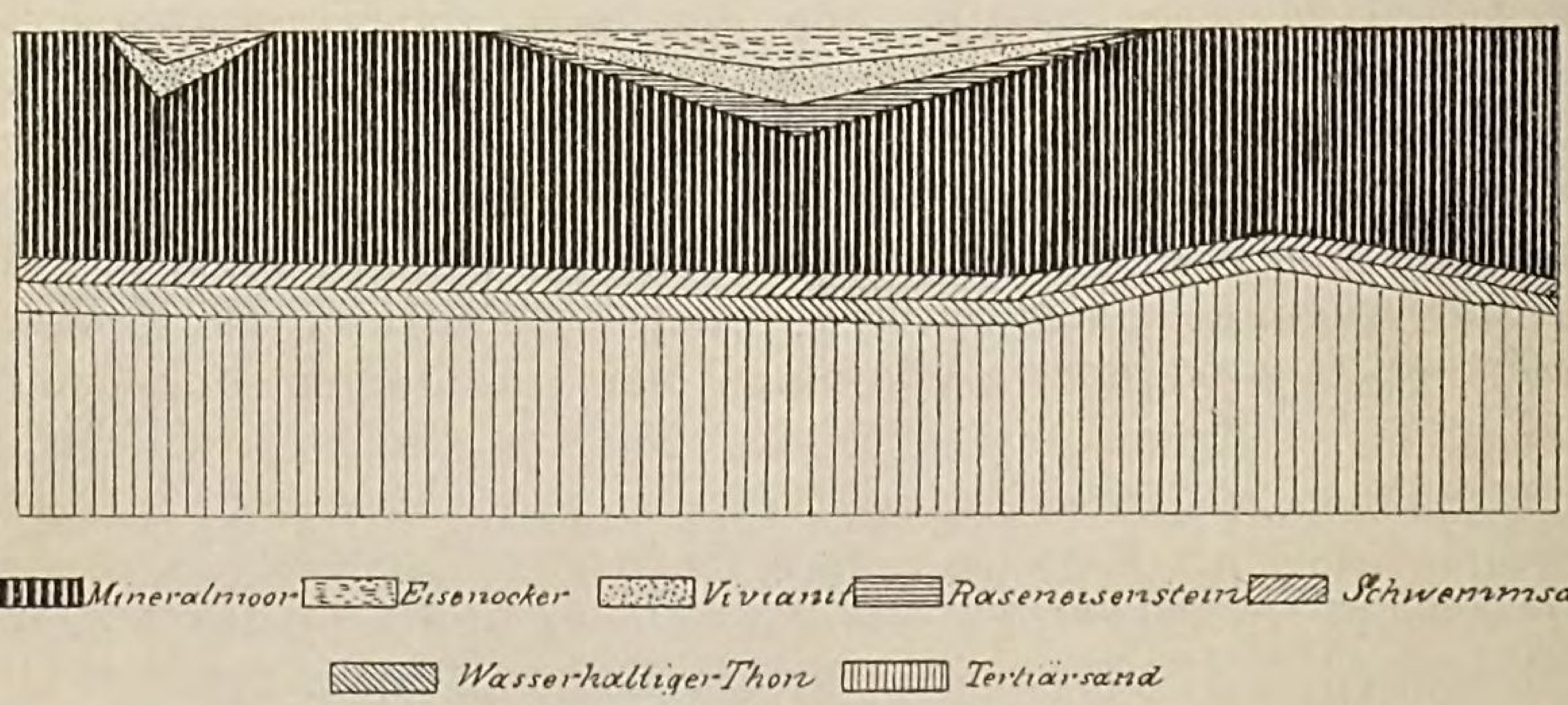
Wenn die einen Sumpf überlagernde Decke einen hinlänglichen *Konsistenzgrad* erreicht hat, so wird aus dem Sumpfe ein *Moor*, oberdeutsch *Moos* [1]). Moorbildung ist überall da möglich, wo es an Wasser nicht fehlt, das jedoch nicht in Form eines eigentlichen Sees auftreten, mit dem vielmehr nur das Terrain weithin infiltriert sein darf, und wo die sonst gewöhnliche Humusbildung (Verwitterung und Vermoderung der oberflächlichen Bodenschichten; vgl. u. in Abschnitt XVI) durch die Bildung von Torf (S. 75) ersetzt ist. Die Zusammensetzung des Torfes, welcher das erste Glied in der grossen Reihe der mineralischen Pflanzenmetamorphose darstellt, ist nun durchaus keine einheitliche, und so unterscheidet man denn auch, je nachdem ein gewisser Vegetationstypus als der vorherrschende erscheint, in botanischer Beziehung *Waldmoore, Strauchmoore, Wiesenmoore* und *Moosmoore.* Letztere sind wohl am weitesten über die Erde verbreitet und zumal der nördlichen Polarkalotte eigentümlich. Offene Wasserflächen, *Blänken*, fehlen vielfach im Moore gänzlich, während sie in Ostpreussen nach *Jentzsch* mehrfach angetroffen werden. Eine besondere Form der Moore sind die *Hochmoore*, mächtig in die Höhe gewölbte Moore, die sich aus Torf mit Zwischenlagen von Wald- und Wiesenresten aufbauen und auf dem Gipfel der konvexen Kuppel nicht selten kleine *Moorseen* tragen. Die Hochmoore des Emsgebietes hat *Grisebach* eingehend untersucht, und noch heute stehen wir, was die Erkenntnis der physi-

[1]) Solche „Möser“ findet man auf der bayerisch-schwäbischen Hochebene mehrfach vor (*Donaumoos, Weilheimer, Erdinger, Dachauer Moos*); für Moorbrüche, die sich zur Torfgewinnung geschickt zeigen, ist vielfach auch der Name *Filz* im Gebrauche. Aus *Chr. Grubers* archivalischen Nachforschungen erhellt, wie viele Mühe der bayerische Staat es sich seit mehr als hundert Jahren kosten liess, diese vielfach total versumpften Landschaften zu drainieren und urbar zu machen, leider nur mit sehr teilweisem Erfolge.

kalischen Entstehungsbedingungen dieser Objekte anlangt, wesentlich auf dem durch ihn bereiteten Boden. Insbesondere ist folgender, von ihm ausgesprochener Satz der Beachtung würdig: „Nicht stetig, und in unbestimmtem Masse, wachsen die Hochmoore empor, sondern nur so lange, bis die durch Bäche auf der Oberfläche vermittelte Entwässerung mit der Befeuchtung der Substanz in Gleichgewicht getreten ist; dann kann, ohne dass der Mensch eingreift, die Gestalt des Moores sich nicht mehr ändern und neuer Torf nicht weiter erzeugt werden.“ Man sieht, dass zwischen den Hochmooren und den oben beschriebenen Erdschwämmen insofern eine gewisse Aehnlichkeit besteht, als ihre Konvexität durch die Menge der überhaupt aufzunehmenden Feuchtigkeit geregelt wird. Jene Schichtung der Torfmoore, welche von dem skandinavischen Geographen *Runeberg* entdeckt worden zu sein scheint, will, wie wir oben schon erfuhren (S. 270), *Blytt* mit dem Wechsel klimatischer Perioden in ursächliche Verbindung bringen, doch ist eine solche Schichtung keineswegs überall wahrzunehmen.

Ein besonderes Interesse sind die *Mineralmoore* hervorzurufen geeignet. Torfmoore sind, wie *Ebermayer* nachgewiesen hat, meist vollständig frei von *Nitraten*; auch das Moorwasser von Kolbermoor im bayerischen Alpenvorlande enthält keine Salpetersäure. Anderwärts treten oft im Inneren grosser Torfmoorflächen inselartig Mineralmoore auf; dies gilt besonders von dem sehr merkwürdigen Mineralmoore in der Nähe von Franzensbad, welches im Volksmunde *„die Soos“* genannt wird und durch *Bieber* eine sehr sorg-

Fig. 104.



fältige monographische Behandlung erfahren hat. Dieses Moor, von dessen Struktur uns der in *Fig. 104* wiedergegebene Profildurchschnitt ein Bild liefert, ruht auf einer zementartigen, die Grenze zwischen Tertiär- und Quartärformation bildenden Thonschicht und erscheint unten als eine pechschwarze, weiter oben als eine dunkelblaue Masse, deren Mineralgehalt nach oben zu abnimmt. Die Salpetersäure tritt auch hier zurück, dafür aber machen sich Verbindungen der Schwefelsäure um so mehr geltend, indem *schwefelsaures Natron, schwefelsaure Magnesia* und *schwefelsaures Eisenoxydul*

die wesentlichsten Bestandteile bilden. *Cartellieri* erblickt in dem Moorlager das noch nicht zum endgiltigen Abschlusse gediehene Produkt einer chemischen, sich stets erneuernden Wechselwirkung zwischen einem natürlichen Moor und unzähligen dasselbe durchziehenden Eisensäuerlingen. Ueber dem eigentlichen Mineralmoor, jedoch noch unter der Oberfläche, begegnet man Massen von *Raseneisenstein* (S. 75), *Eisenocker* und *Blaueisenerde*[1]). Merkwürdig sind die sogenannten *Bulten*, kleine Hügelchen, wie sie übrigens nicht leicht einem Hochmoor gänzlich fehlen; Vegetationsgebiete, deren Bildung durch lokale Wasseransammlung ermöglicht wurde. Solche kann sich derart steigern, dass einzelne Stellen einen wirklichen Sumpfcharakter annehmen. Aus dem Moor steigen zahlreiche Gasquellen auf, und das kohlensaure Gas tritt in Blasen an die Luft. Wären, nachdem der undurchlässige, kalkfreie Untergrund die Bildung eines Moores zugelassen, lediglich Wasser und Pflanzen vorhanden gewesen, so kam es zur gewöhnlichen *Vertorfung*, wogegen die Mineralquellen von Anfang an eine *Vermoorung* einleiteten. Gemeiniglich findet man die beiden Faktoren getrennt vor, Torf ohne Mineralsprudel und Mineralsprudel ohne Torf, aber das Becken von Eger ist durch die eigenartige Kombination beider ausgezeichnet, und so kam die *Moorsubstanz* im engeren Sinne, nebst Quell-, Wiesen-, Sumpf- und Morasterzen zustande.

Das Grundwasser. Allenthalben da, wo bei einer Tiefbohrung nicht auf anstehendes festes Gestein, sondern auf lockere Ablagerungen, Sand, Kies, Schotter, Gerölle u. s. w. gestossen wird, findet man auch Wasser, welches die von jenen Festkörpern frei gelassenen Hohlräume erfüllt und kurzweg als *Grundwasser* bezeichnet wird. Dieses Wasser ist nicht, wie eine frühere Zeit glaubte[2]), von Anbeginn der Welt an an diesen Orten gewesen, es ist auch nicht — wenigstens im allgemeinen nicht — auf endosmotischem Wege aus Seen und Flüssen in den angrenzenden Boden übergegangen, sondern es ist *von den oberflächlichen Schichten aufgesogenes Regenwasser*. Allerdings hat sich gegen diese durch

[1]) Dieser Stoff, auch *Glaukosiderit* oder *Vivianit* (s. d. Figur) benannt, ist ein Eisenphosphat, dem die Formel $Fe_3 P_2 O_8 + 8 H_2 O$ zukommt. In Krystallform bedeckt es hie und da weite Strecken, so z. B. die Magnetkieslagerstätten am Arber im Böhmerwald, die Zinnlagerstätten von Cornwall u. s. w.

[2]) Das Mittelalter huldigte der Ansicht, dass die Erdkugel schwammartig gebildet sei, ein Netzwerk von Kanälen und Adern in sich trage, und dass in diesen Hohlräumen fortwährend Wasser zirkuliere, welches vom Meere stamme und wieder zu diesem zurückkehre. Insbesondere waren es einzelne Kirchenväter, welche diese Lehre vertraten, doch bestand dieselbe auch noch in *Dante Alighieris* Zeitalter unerschüttert. Sehr belehrend ist in dieser Beziehung die *„Composizione del mondo“* des *Ristoro d'Arezzo*, ein im Jahre 1282 verfasstes Kompendium der damaligen Kosmologie und Kosmographie, von welchem *Narducci* (Rom 1859) eine vortreffliche Ausgabe veranstaltet hat. Das siebente Kapitel des sechsten Buches erörtert die Frage, wie es möglich sei, dass Wasser auch den hohen Bergen nicht fehle. Den Grund erblickt der Autor in einem Aufsteigen des Wassers, das sich nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren richtet.

Mariottes Experimente schon vor zwei Jahrhunderten begründete Lehre, dass das Grundwasser, und ebenso das Wasser der Quellen (s. u.) aus den Niederschlägen sich fortwährend ergänze, Widerspruch von seiten *Volgers* erhoben: derselbe behauptet, und sucht seine Behauptung durch Versuche von *Jarz* und *Sonntag* zu stützen, dass nur ein geringer Teil des meteorischen Wassers wirklich in die Erde eindringe, dass aber nahezu alles Grund- und Quellwasser *verdichtetes Wassergas* sei, welches sich in der vom Erdboden aufgesaugten Luft befunden habe. Diese Theorie hat man nun in der mannigfaltigsten Weise widerlegt, so dass sie besser allmählich aus der Diskussion verschwinden würde. In ausgedehnten Versuchsreihen von *Hann, Wollny* und *Ebermayer* sind die direkten Voraussetzungen, von denen *Volger* ausging, als unhaltbar nachgewiesen worden, und zudem hat *Soyka* ermittelt, dass die Schwankungen des Grundwasserspiegels ganz und gar von den Schwankungen der Regenmenge und Regenhäufigkeit abhängig sind. Wenn mehr Regenwasser fällt, als die Verdunstung wieder fortzuführen vermag, so hebt sich das Niveau des Grundwassers, und im entgegengesetzten Falle sinkt es. Wenn man *Soykas* graphische Darstellung der doppelten Jahresperiode ins Auge fasst, welche für eine Reihe von (deutschen und österreichischen) Städten sowohl die Niederschläge als auch die Grundwasserstände erkennen lassen, so spricht sich der Parallelismus beider Kurven unzweideutig aus. Scheinbare Ausnahmen, wie sie z. B. *Woldrich* für Salzburg von dieser Regel erkannt zu haben glaubte, widersprechen derselben in Wahrheit nicht, sobald man nur alle einwirkenden Momente, vorab die *Schneeschmelze*, mit in Rechnung zieht.

Das Grundwasser verharrt nicht in vollständiger Ruhe; es stagniert nicht (S. 325), sondern es zirkuliert im Boden. Man kann mit allem Rechte von einer *Grundwasserströmung* sprechen, wobei für die Strömungsrichtung natürlich zunächst die Böschung der undurchlässigen Schicht massgebend ist, welche dem Bodenwasser den Zutritt zu tiefer gelegenen Horizonten verwehrt. Auf weite Entfernungen kann, wenn die Zusammensetzung der oberen Lagen eine analoge ist, eine einheitliche, ununterbrochene Wasseransammlung bestehen. So ist, wie *Daubrée* zeigte, das ganze Rheinthal bei Strassburg i. E. ein zusammenhängendes, breites und tiefes Grundwasserbecken, das auf einer undurchlässigen Tertiärschicht, mindestens 50 m unter dem Boden, aufruht, und von den Rändern dieser Depression fliesst unausgesetzt Wasser nach der Mitte hin ab. Ein ähnliches Ablaufen von den dadurch trocken gelegten Höhen findet nach *Tommasi-Crudeli* im Tiberthale statt.

Wir sagten oben, dass das Grundwasser auch ohne Vorhandensein von fliessendem Wasser sich bilden muss, sobald nur die beiden wichtigsten Voraussetzungen, *meteorische Niederschläge und ausreichende Aufnahmefähigkeit des Erdreiches*, erfüllt sind, doch soll damit keineswegs gesagt werden, dass man deshalb von benachbarten Bächen und Flüssen gänzlich abzusehen ein Recht habe. Nur selten ist ein strömendes Gewässer ganz ausschliesslich auf

sein Bette beschränkt, nämlich nur dann, wenn letzteres seiner ganzen Länge nach in wasserdichten Boden, plastischen Thon z. B., eingegraben ist. Gewöhnlich begleiten den Fluss zu beiden Seiten *Alluvien,* Aufschüttungen von lockerem Gefüge, und alsdann findet sich im Zustande der Bewegung befindliches Wasser nicht lediglich in der eigentlichen Laufrinne, sondern auch in den Alluvien und den diese wieder einsäumenden Schichten ist, falls sie Wasser überhaupt aufzunehmen vermögen [1]), solches vorhanden. Man kann sich aber leicht denken, dass in diesen Seitengebieten die Bewegung sich mehr und mehr verlangsamt; es bleibt in ihnen auch Flüssigkeit genug zurück, um in der trockenen Jahreszeit den Fluss zu speisen. In Gebirgsthälern, zumal dann, wenn ein Strom sich durch Schotterhügel hindurch seinen Weg gebahnt hat, rührt, *v. Sonklar*s Messungen zufolge, die grössere Menge des Grundwassers nicht von der Atmosphäre, sondern von der Infiltration des Flusswassers her, doch liegt auch dann das Niveau des letzteren immer höher. Das vorhin berührte Verhältnis, *dass das Stromgerinne vom Bodenwasser Zufluss erhält,* kann sich auch in sein völliges Gegenteil verkehren, d. h. es kann geschehen, *dass ein Bach oder Fluss durch Vereinigung der ihn erfüllenden Wassermassen mit dem Bodenwasser trocken gelegt wird* [2]).

Den Anstoss zu näherer Beschäftigung mit den Grundwasserverhältnissen haben in neuerer Zeit vorwiegend *hygieinische Erwägungen* gegeben; es haben nämlich die Untersuchungen *v. Pettenkofer*s, welche *Seidel* an der Hand der Wahrscheinlichkeitsrechnung in ihren Ergebnissen bestätigte, es höchst wahrscheinlich gemacht, dass die Häufigkeit und Heftigkeit gewisser Volkskrankheiten, zunächst des *Typhus* und der *Cholera*, vom Grundwasserstande abhängig sind. *Je tiefer das Niveau des Grundwassers steht, um so ungünstiger liegen die Bedingungen für die Epidemie, und mit dem Steigen des ersteren verschlechtert sich die Salubrität der betreffenden Gegend.* Obschon es noch nicht geglückt ist, diese Thatsache vollkommen deduktiv aus den einstweilen festgestellten Grundlehren der Bakteriologie zu

[1]) Bis zu einem gewissen Grade eignet jedem Gesteine eine gewisse *Wasserkapazität*, doch ersieht man aus einer von *Gravé* ausgearbeiteten, 55 Gesteinsarten umfassenden Tabelle, dass in quantitativer Beziehung die grössten Verschiedenheiten obwalten. Wienerwald-Sandstein soll beispielsweise doppelt, Postelwitzer Sandstein achtmal so viel Wasser halten können, als Karst-Marmor. Ob die Kraft, das Wasser zurückzuhalten, der Porosität des Stoffes proportional sei, steht nicht fest; *Gravé* ist dieser Meinung, aber aus den von *C. Lang*, im Auftrage *v. Pettenkofer*s, unternommenen Versuchen scheint ein anderes Verhalten zu folgen.

[2]) Ein recht augenfälliges Beispiel ist der von *Soyka* zu diesem Zwecke herangezogene *Hachinger Bach* in nächster Nähe von München. Im Oberlaufe dieses Baches bezieht derselbe Wasser aus den Diluvialhügeln zu seinen Seiten; weiter abwärts tritt er in ein Stadium der Indifferenz, indem zeitweise gar kein Austausch zwischen Rinnsal und umgebendem Terrain stattfindet, und zuletzt sinkt, der *v. Sonklar*schen Regel entgegen, das Niveau des Horizontalwassers unter dasjenige des Baches. Letzterer hat so seine Wasserfülle wieder dahin abgegeben, woher er sie bezogen hatte, nämlich an den grossen Grundwasserstrom der Hochebene.

begründen, so spricht doch die Statistik deutlich genug für die Richtigkeit des Erfahrungssatzes. Für München hat *v. Pettenkofer* ein sehr stattliches Material zusammengebracht; die Städte Berlin, Frankfurt a. M., Bremen und Salzburg sind von *Soyka* nach dieser Seite hin geprüft worden, und der gleiche Erfolg ergab sich ganz kürzlich erst, als *Brückner* das periodische Auftreten typhöser Fieber in Hamburg studierte.

Quellen. Das zur Erde gehörige Wasser befindet sich in einem niemals endenden *Kreislaufe*. Man verfolgt im Regen den Fall atmosphärischen Wassers zur Erde; man bemerkt dann, dass dieses teils die schon vorhandenen Gewässer speist, teils sich dem Grundwasser einverleibt; und zuletzt konstatiert man, dass durch Verdunstung das Wasser wieder in die Luft zurückkehrt. Ein namhafter Teil des in die Erde eingesickerten Wassers verbleibt jedoch nicht in der Erde, sondern tritt als *Quelle* wieder hervor. Wenn man mit freilich sehr runden Zahlen rechnet, so kann man die folgende These aufstellen:

Etwa ein Dritteil des zur Erde gelangenden atmosphärischen Wassers [1]) *verdunstet wieder; ein weiteres Dritteil fliesst oberirdisch den Seen, Flüssen und Meeren zu; das letzte Dritteil endlich wird vom Boden aufgenommen und liefert den Stoff zu den Quellen. Solche entstehen im allgemeinen dann* [2]), *wenn sich auf einer gegen den Horizont geneigten undurchlässigen Schicht im Gesteine das Regenwasser ansammelt und, längs jener abfliessend, eine an der Aussenseite mündende Oeffnung der es bisher bergenden Gesteinsmasse erreicht.*

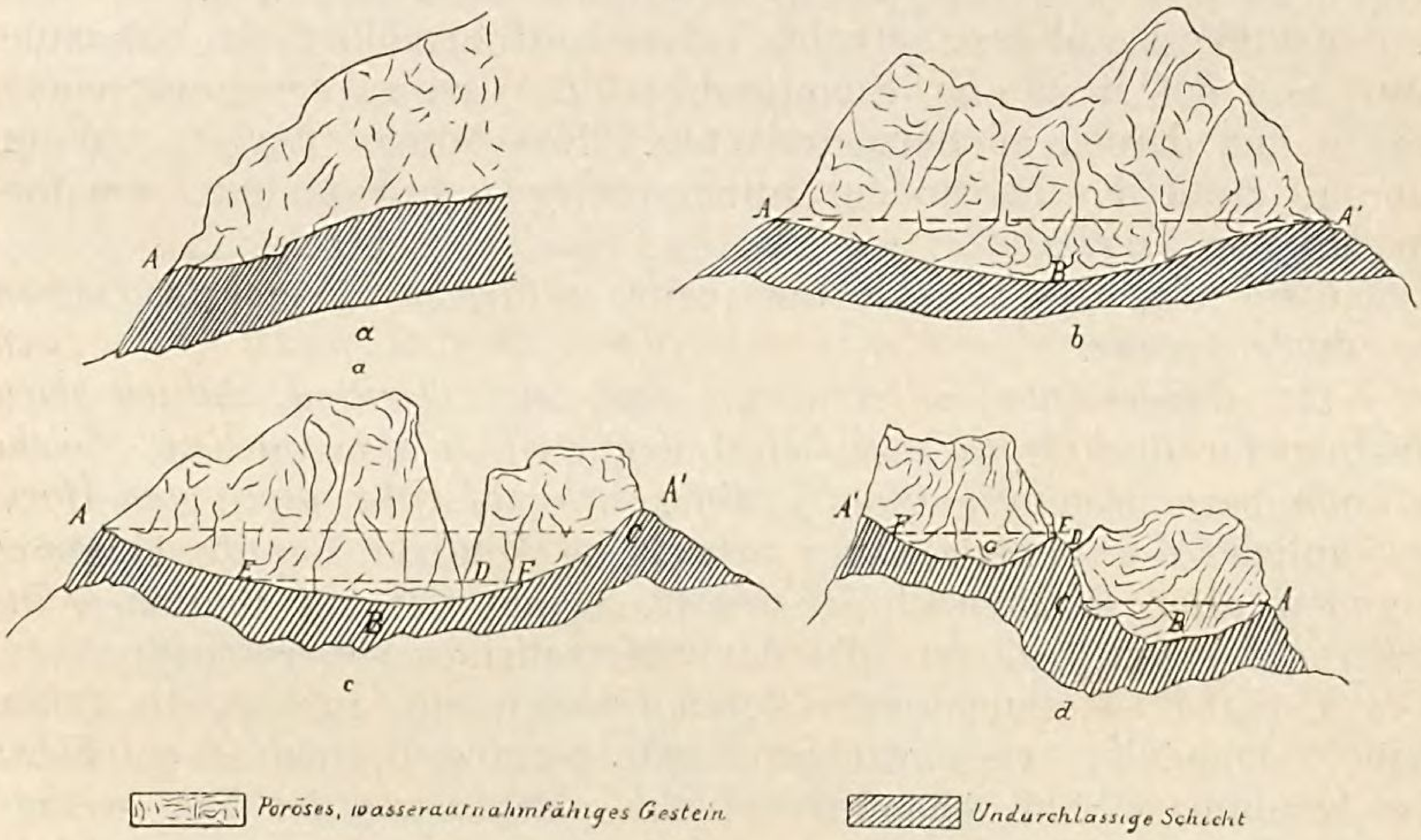
Von irgendwelchen besonderen Formen der Quellen, an denen es nicht mangelt, sehen wir fürs erste ab und betrachten zunächst bloss Quellen, welche *perennierend* sind, also ununterbrochen, wenigstens während eines bestimmten Zeitraumes, laufen. Man unterscheidet gemeinhin *Schichtquellen, Ueberfallquellen, Spaltquellen*, und diesen drei Kategorien hat *Gravé* noch ein vierte, die der *Verwerfungsquellen*, hinzugefügt. Wir erläutern ihr Wesen an der schematisch gezeichneten *Fig. 105*, aus welcher sofort ersichtlich ist, wo sich in jedem Falle das durchlässige Gestein, wo sich die undurchlässige Schicht befindet. Am einfachsten liegen die Dinge bei

[1]) Es braucht wohl kaum betont zu werden, dass mit dem eigentlichen Regenwasser sich auch das Schmelzwasser des Schnees vereinigt.

[2]) Die von *Mariotte* (s. o.) begründete moderne Quellentheorie bedurfte längere Zeit, um den Sieg über die dem Ideenkreise des Zeitalters näher liegende, gleichfalls schon oben berührte „Schwammtheorie“ davonzutragen, an welcher selbst noch *Varenius* festhielt, indem er allerdings an ein Aufsteigen des Wassers durch Kapillarspalten dachte. Fast noch vor *Mariotte* hatte aber auch *Vossius* (S. 314) dessen Ansicht in seiner eigenen Weise begründet; er wagte sogar die Behauptung, dass es ohne Regenwasser keine Flüsse gäbe. Nachdem er dies erkannt, war es ihm leicht, die für seine Zeitgenossen schwierige Frage zu beantworten, woher es komme, dass in gebirgigen Ländern die Quellen häufiger seien, als in ebenen; eingesickertes Regenwasser, so schloss er richtig, sei überall vorhanden, aber nur im unebenen Gelände fänden sich die geneigten Schichtflächen, auf denen das Wasser zu einem Sammelplatze ablaufen könne.

den Schichtquellen (*Fig. 105a*); man sieht, wie das Wasser herabrinnen und bei *A* zu tage austreten muss. Wenn im Inneren des porösen Gesteines eine muldenartige Höhlung sich befindet, deren tiefster Punkt bei *B* (*Fig. 105b*) liegt, so sammelt sich darin das Regenwasser so lange, bis der die Ausflussritzen enthaltende Horizont *AA'* erreicht ist, und dann beginnt der Ausfluss, der von dem stetig nachdringenden meteorischen Wasser im Gange erhalten wird. Unter gewissen, durch die Spaltquellen verdeutlichten Umständen kann der Austritt noch eher erfolgen; *AA'* (*Fig. 105c*) ist wiederum die Mulde, die aber diesmal nicht zusammenhängend ist, sondern

Fig. 105.



durch einen bis zum Horizonte *EF*, der selbst wieder unter der Fläche *AC* liegt, herabreichenden Spalt *D* unterbrochen wird. Sobald der Grundwasserspiegel sich bis *D* gehoben hat, beginnt die Quelle zu fliessen. Bei den Verwerfungsquellen endlich (*Fig. 105d*) — bezüglich der Bezeichnung sei auf S. 108 verwiesen — ist der Gebirgsflügel *AD* gegen den Flügel *EA'* abgesunken; *AC* und *EF* sind die Ausflusshorizonte der Mulden *ABC* und *EGF*. Durch die Verwerfung ist undurchgängiges Gestein neben poröses gebracht worden, und in diesem letzteren muss sich nun das Wasser so lange aufstauen, bis die Lücke bei *D* erreicht ist.

Abgesehen von der Art der Entstehung und von der *Konstanz* oder *Intermittenz der Quelle* kann man bei derselben unter dem physikalisch-geographischen Gesichtspunkte besonders noch zwei Eigenschaften in betracht ziehen: ihre *chemische Beschaffenheit* und ihre *Temperatur*. Indem wir alle diese Punkte zusammenhalten, gelangen wir dazu, eine ganze Reihe von speziellen Formen der Quellen gesondert untersuchen zu müssen, selbst wenn wir daran festhalten, dass die ausströmende Flüssigkeit, von Beimengungen

abgesehen, *Wasser* ist, wenn wir mithin von *Petroleumquellen* u. dgl. (vgl. S. 77) gänzlich abstand nehmen.

Quellen von besonderer Art. Wir stellen eine *Quellentafel* auf und unterscheiden auf derselben die ziemlich zahlreichen Glieder, welche uns im folgenden Stoff zur Besprechung geben sollen.

I. *Sehr kalte Quellen.* Unter den Umständen, welche eine starke Erniedrigung der Quellentemperatur bewirken können, steht obenan deren Ausfluss aus einer Schuttmasse. Solche *Schuttquellen* können sowohl an den Gehängen als auch in den Thälern solcher Gebirge vorkommen, deren Fels der Verwitterung in hohem Masse ausgesetzt ist. Die Abkühlung tritt auch dann ein, wenn die ausfliessende Wasserader zwar zunächst aus anstehendem Gestein kommt, dann aber sofort in eine Schuttmasse sich verliert, um erst später wieder aus derselben hervorzutreten. Sorgfältige Temperaturmessungen, die *Chr. Gruber* am Isarursprung angestellt hat, ergaben, dass an der *Versitzstelle*, wo also das Quellwasser scheinbar in den Boden einsinkt, das Wasser um mehrere Grade wärmer ist, als an der *Austrittsstelle.*

II. *Heisse Quellen.* Die sogenannten *Thermen*, deren Heilwirkung für den Organismus auffallenderweise dann am kräftigsten sich offenbart, wenn dieselben *indifferent* sind, d. h. keine irgend ungewöhnliche Zusammensetzung aufweisen (Wildbad, Teplitz, Gastein), stammen aller Wahrscheinlichkeit nach aus tieferen Regionen der Erdkruste[1]) und bringen die dort herrschende höhere Temperatur — vgl. S. 51 —, nur unerheblich abgeschwächt, mit an die Oberfläche. Die Nähe vulkanischer Herde kann sich, wie schon *Vitruvius* gemutmasst hat, ebenfalls in einer Erhöhung der Eigenwärme der Quelle äussern; ja es ist auch nicht ausgeschlossen, dass die im XVI. Jahrhundert von *Cäsalpin* bezüglich der Heilwässer ausgesprochene Ansicht, chemische Vorgänge im Inneren der Gesteine möchten wärmeerzeugend wirken, in manchen Fällen zutrifft. Die neuerdings in balneotherapeutischen Kreisen viel besprochene Theorie *Degens*, wonach der Druck, den der Wasserstrang in grösserer Tiefe erleidet, dessen Erhitzung bedingen sollte, lässt sich aus den Grundsätzen der Wärmemechanik unschwer widerlegen, wie dies u. a. durch *Lersch* geschehen ist.

III. *Mineralquellen überhaupt.* Bis zu einem gewissen Grade ist jede Quelle mineralhaltig, denn es ist undenkbar, dass Wasser durch Kanäle im Gesteine hindurchströme, ohne deren Wände anzugreifen und losgelöste Bestandteile derselben aufzunehmen. Indessen verleiht man den auszeichnenden Namen der *Mineralquellen* nur solchen, deren Wasser durch die beigemengten Fremdstoffe einen charakteristischen Geruch oder Geschmack annahm, resp. eine

[1]) Dem steht nicht entgegen, dass man warmen Quellen mitunter auch in beträchtlicher Höhe über dem Meere begegnet. *O. Lang* hat gezeigt, dass man diese *Höhenlage* einfach mit Hilfe des *Hebergesetzes* zu erklären vermag.

ganz bestimmte medizinische Wirkung zu erzielen befähigt wurde. Die Heilkunde unterscheidet auf grund der chemischen Analysen wesentlich folgende Hauptformen der Mineralbrunnen: *Alkalische Quellen* oder *Säuerlinge*, bezüglich deren wieder ziemlich viele Unterabteilungen zu machen sind, *Glaubersalzwässer, Eisenwässer, Kochsalzquellen,* welche eine sehr abwechslungsreiche Zusammensetzung besitzen [1]), und denen auch die Jod- und Bromquellen zuzuzählen sind, *Bitterwässer, Schwefel-* und *erdige Quellen.* Indem der Chemiker die von ihm nachgewiesenen und auch für sich allein darzustellenden Verbindungen reinem Wasser zusetzt, kann er *künstliches Mineralwasser* erzeugen. — In diese Klasse kann man auch am besten die *inkrustierenden Quellen* versetzen, aus denen sich, je nachdem der eine oder andere Stoff darin enthalten ist, *Kalk-* und *Kieselsinterbildungen* abscheiden; fremde Körper, die sich im Bereiche des Quellwassers befinden, werden mit einer festen Kruste überzogen. Solche Ablagerungen aus kohlensaurem Kalk führen den Namen *Travertin* (der *„lapis tiburtinus“* der Römer, welche ihn mit Vorliebe zu Bauten verwendeten); aus Travertinsedimenten hat sich bei Clermont in der Auvergne eine höchst merkwürdige *Naturbrücke* über einen Fluss gebaut, d. h. die kalkhaltige Quelle ergoss sich in diesen Fluss, und während sich aus ihr im Laufe der Jahrtausende fortwährend neue Massen absetzten, grub sich das dadurch aufgestaute Wasser seinen Weg durch das Hindernis. Mit Recht berühmt sind die grossartigen, an künstlich in Terrassenform angelegte Bassins erinnernden Sinterbildungen [2]) an den Ufern des *Rotomahana-Sees* auf Neuseeland, welche *v. Hochstetter* eingehend beschrieben hat, welche aber durch unlängst im Gefolge vulkanischer Umwälzungen eingetretene Veränderungen viel an ihrer malerischen Schönheit verloren haben sollen. Hier ist auch der Ort, um der *Tropfsteingebilde* zu gedenken, welche sich meist im Inneren von Höhlen finden, ohne doch an diese gebunden zu sein. Kalkreiches Wasser, das aus den Spalten des Gesteines austritt, verdunstet, und es bleibt nur ein dünner, aber fester Niederschlag übrig, welcher an Grösse ununterbrochen zunimmt. Da in einer Tropfsteinhöhle das Kalkwasser sowohl von unten als auch von oben austritt, so entstehen am Boden und an der Decke Erhöhungen von zylindrischer oder konischer, häufig recht bizarrer Form [3]); die

[1]) So enthält z. B. das berühmte *Herkulesbad* bei Mehadia (Banat) Chlornatrium, Chlorkalzium, Jod- und Bromkalzium, Kieselerde und saure Kalkerde; infolge dessen erweisen sich die einzelnen dort hervorsprudelnden Quellen, die eine Temperatur von mehr denn 60° erreichen, für die verschiedensten Krankheitszustände hilfreich.

[2]) Es scheint noch nicht darauf hingewiesen zu sein, dass man ein völlig ähnliches, nur stark verkleinertes Abbild dieser Terrassen, nur freilich nicht aus Kieselsäure, sondern aus Kalk entstanden, in der bekannten Grotte von St. Kanzian (s. u. in Abschnitt XVII) vorfindet.

[3]) Bedeutende Tropfsteinhöhlen sind hauptsächlich dem Kalk- und Dolomitgebirge, der Jura- und Kreideformation eigentümlich. Wir nennen diejenigen der *fränkischen Schweiz,* die berühmten *Karstgrotten* (Adelsberg, St. Kanzian), die von *Boyd Dawkins* als „Feenkammer“ bezeichnete Höhle auf der britischen

nach oben wachsenden nennt man *Stalagmiten*, die nach unten wachsenden *Stalaktiten*[1]). Natürlich können zwei in der gleichen Vertikale befindliche Gebilde dieser Art sich auch begegnen und vereinigen, so dass dann an ihre Stelle eine scheinbar einheitliche *Tropfsteinsäule* getreten ist. Man hat wohl versucht, die Dicke des einem bestimmten Zeitraume entsprechenden Absatzes zu messen und so, ähnlich, wie man das Alter eines Baumes aus dessen *Jahresringen* berechnet, einen Schluss auf den zur Bildung eines gewissen Stalagmiten oder Stalaktiten notwendigen Zeitraum zu ziehen, allein solche Schätzungen, bei denen immer ungemessene, mit anderen geologischen Daten in Widerspruch stehende Ziffern herauskommen, leiden regelmässig an Unzuverlässigkeit[2]). — Zum Schlusse sei bemerkt, dass der Kalkgehalt einer Quelle für sie, sowie für den Bach oder Fluss, welchem sie das Leben bilden hilft, den *Härtegrad* des Wassers bestimmt[3]).

IV. *Als Flüsse austretende Quellen.* Eine im ganzen seltene und nur dem zerklüfteten Kalksteingebirge eigentümliche Erscheinung wird durch Quellen dargeboten, welche mit mächtiger Wasserfülle aus dem Fels heraustreten und gleich in unmittelbarer Nähe ihres — allerdings nur scheinbaren — Ursprunges Schiffe zu tragen und Mühlen zu treiben vermögen. Nach dem berühmten Thale von Vaucluse nennt man in Frankreich solche uneigentliche Quellen *„Sources vauclusiennes“*, während *Desor* dafür den im Französischen Jura gebräuchlichen Lokalnamen *„Doue“* in Vorschlag gebracht hat. Man hat es da mit wirklichen Flüssen zu thun, die nur lange Zeit sich unterirdisch fortbewegt hatten und deshalb schon mit entsprechendem Wasserreichtum ans Tageslicht kommen. Mitunter kann man bei solchen Doues den Lauf genau verfolgen; der *Laibachfluss* z. B. strömt bei Oberlaibach als anscheinende Quelle aus dem Boden hervor, aber man weiss, dass schon früher gewisse

Insel *Caldy*, endlich die gigantischen Höhlen auf der Insel *Antiparos* und in *Kentucky* („Mammuthöhle“). Auch in Ostafrika hat *Kräger* jüngst, nicht weit von Tanga, eine verzweigte Tropfsteinhöhle eröffnet, welche der vielleicht etwas enthusiastischen Beschreibung zufolge unerreicht dastehen soll.

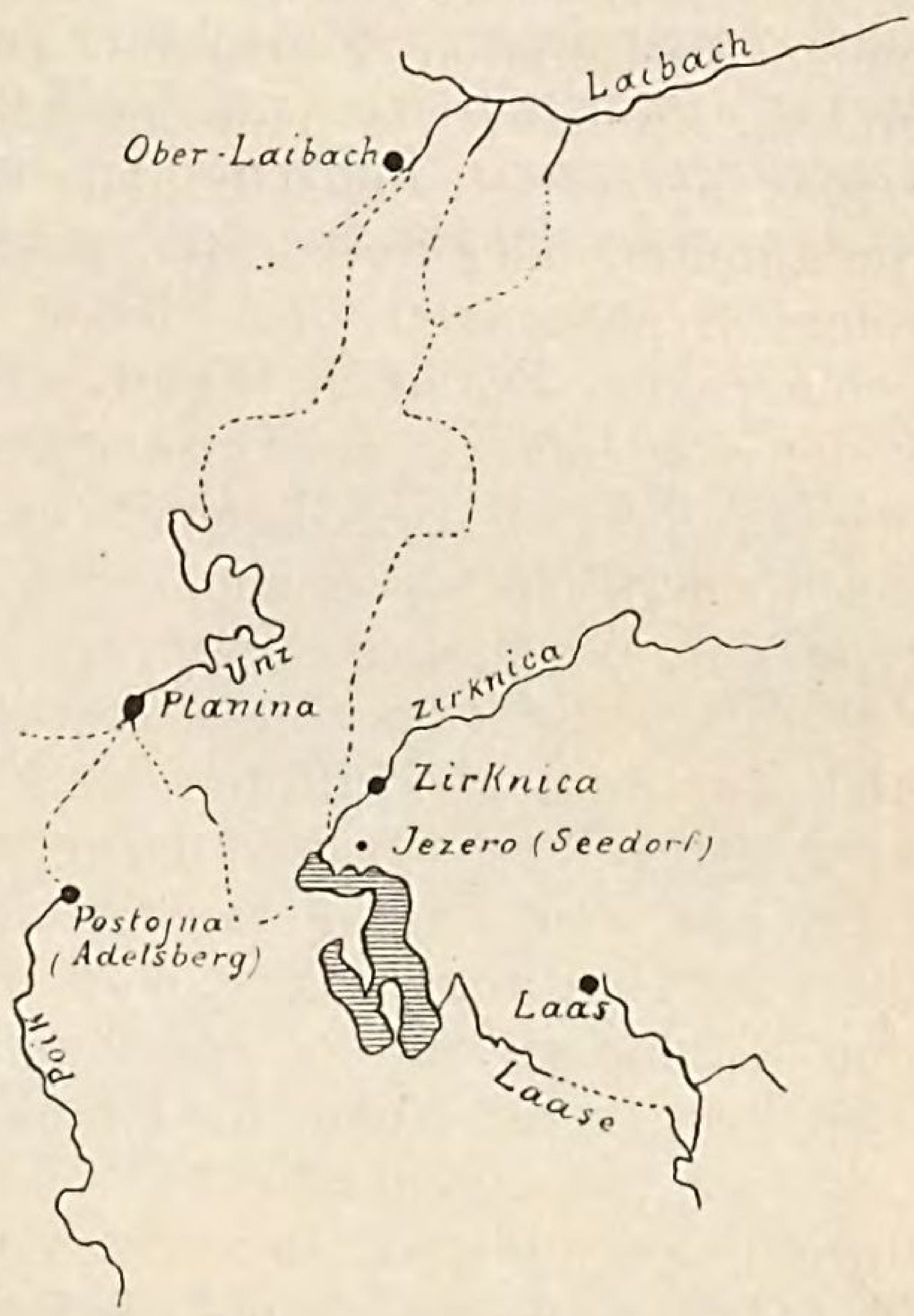
[1]) Ethymologisch besteht kein solcher Gegensatz zwischen diesen Worten, wie ihn die Uebung hineingelegt hat (τὸ στάλαγμα, der Tropfen; σταλακτός, tröpfelnd).

[2]) So hat *Wiedeburg* das Alter der „Baumannshöhle“ im Harz nach der Dicke der Tropfsteinkegel auf 20000 Jahre berechnet; wie viele Irrtümer dabei mitunterlaufen können, zeigt recht deutlich ein freilich sonst auf einem sehr veralteten geologischen Standpunkte stehender Aufsatz von *Kästner* im Jahrgang 1782 des „Leipz. Magaz. zur Naturkunde, Mathematik u. Oekonomie“ (S. 472 ff.).

[3]) Kalkreiches Wasser wird als *hart*, kalkarmes als *weich* bezeichnet; ersteres verbindet sich nicht mit Seife in der zum Waschen erforderlichen Weise, indem die fetten Säuren jener sich mit dem Kalk zu unlöslichen Salzen vereinigen. Wenn man in 100 gr Wasser *n* Milligramm Kalziumoxyd nachweisen kann, so erhält das betreffende Wasser nach der *Fehling*schen Härteskala den *Härtegrad n*. Trinkwasser ist noch verwendbar, wenn es den Grad 18 hat, obgleich allerdings der Genuss desselben, lange fortgesetzt, nachteilige Wirkungen für den Körper (Kalkabsonderungen in den Blutbahnen und Gelenken) nach sich ziehen kann.

Laufstrecken dieses Flusses unter den Namen *Unz* und *Poik* oberirdisch waren. Wir werden auf diesen echten Karstfluss, dessen hydrographische Charakteristik uns *Fig. 106* vor Augen führt, ebenso später zurückkommen, wie auf den *Timavo*, der, nur eine kleine Stunde von der ihn entlassenden Doue entfernt, sich bei Monfalcone schon als ein ganz stattlicher Fluss in das Adriatische Meer ergiesst. Bei ihm tappt man, was die Beurteilung seines Oberlaufes betrifft, leider noch sehr im Dunklen, denn die früher ganz allgemein gehegte Ueberzeugung, dass die *Rjeka* der St. Kanzianer Grotten mit dem Timavo identisch sei, ist bedenklich erschüttert worden durch die im Jahre 1890 herrschende Dürre, welche bewirkte, dass die Grotten beinahe wasserlos waren, ohne dass in dem Küstenflusse eine starke Abnahme des Wassers sich geltend machte.

Fig. 106.



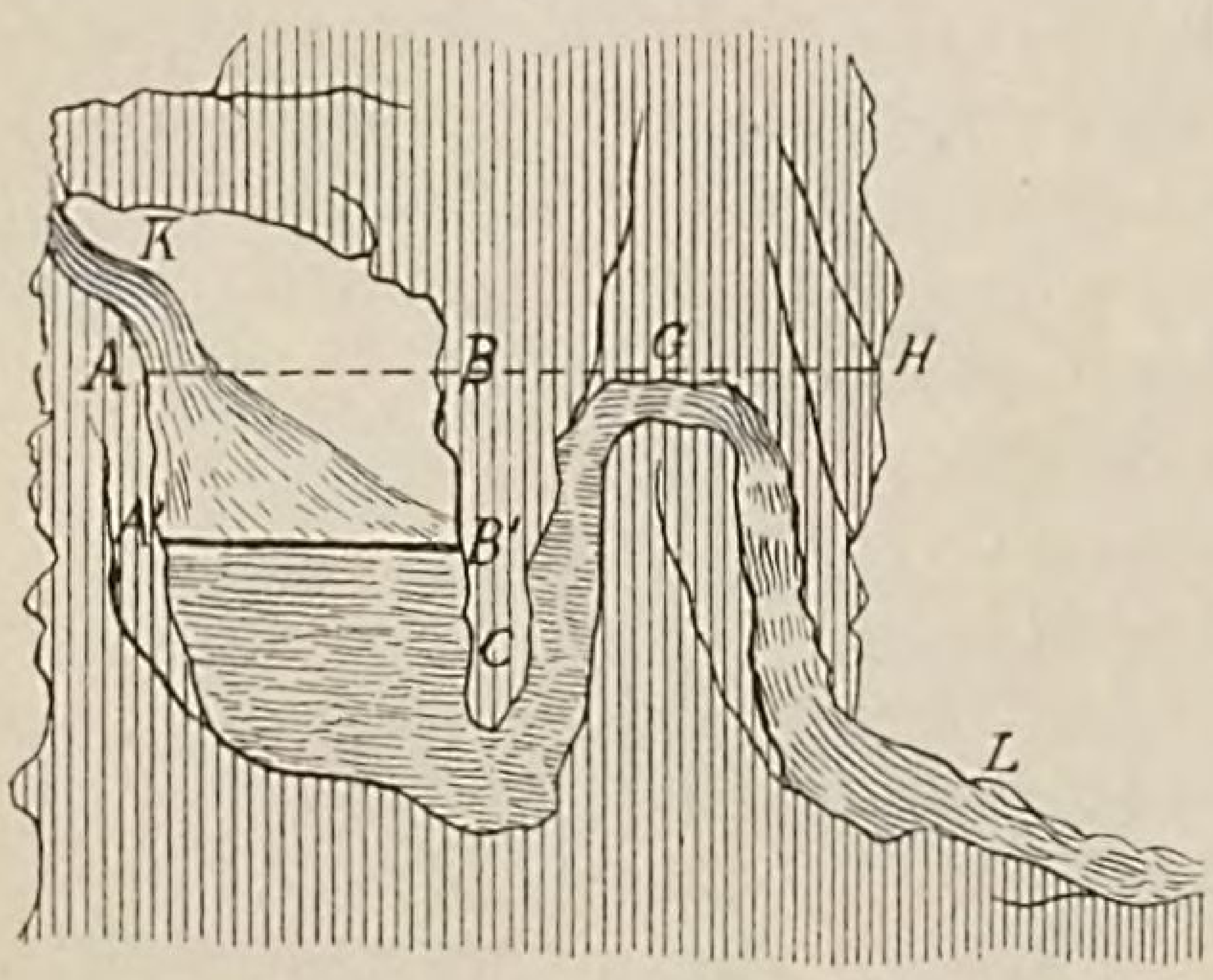
V. *Perennierende Springbrunnen.* Dringt ein Bohrloch, das menschliche Kunst eröffnet hat, oder ein vielleicht durch seismische Kräfte gerissener Spalt in eine unter der Erde befindliche Wasserschicht, welche durch Kanäle mit einer einem höheren Horizonte angehörigen Wassermasse in Verbindung steht, so tritt das *Gesetz der kommunizierenden Röhren*, welches früher (S. 308) vielfach irrtümlich angewendet werden wollte, in Kraft, und das Wasser springt aus der entstandenen Oeffnung als Fontäne in die Höhe. Diese Triebkraft bleibt so lange thätig, bis durch Erschöpfung der anfänglichen Vorräte, die aber selbstverständlich auch wieder von anderen Reservoirs gespeist und ergänzt werden können, das Niveau des subterranen Behälters zum Horizonte der Austrittsöffnung herabgesunken ist. Da — wenigstens im Abendlande, denn China scheint auch hier vorangegangen zu sein — ein Kloster in der französischen Grafschaft *Artois* sich zuerst seinen Wasserbedarf durch Bohrungen der bezeichneten Art verschafft haben soll, so nennt man solche Fontänen *artesische Brunnen*. Nachfolgende Tabelle, die von *Lersch* herrührt, gibt die Massverhältnisse einiger der bekannten Springbrunnen:

Ort	Absol. Tiefe	Tiefe d. Endpunktes unter dem Meere	Ort	Absol. Tiefe	Tiefe d. Endpunktes unter dem Meere
Mandorf . . .	730 m	525 m	Kissingen	584 m	410 m
Bad Oeynhsn.	697	626	Grenelle	548	512
St. Louis (M.)	670	?	Hamburg	513	318

Am grossartigsten hat sich der Nutzen der artesischen Bohrquellen im algerisch-tunisischen Wüstengebiete offenbart [1]).

VI. *Intermittierende Quellen.* Solche Quellen, welche nur zeitweise ihr Wasser spenden, werden als *intermittierende* oder *periodische* bezeichnet; manche Quellen sind jahrelang versiegt und brechen in sehr regenreichen, schlechte Ernten gewährenden Jahren plötzlich hervor, weshalb sie im Volksmunde den Namen *Hunger-* oder *Teuerungsbrunnen* führen. In der Schweiz und auch in England soll es viele dergleichen geben. Den physikalischen Vorgang, auf den es dabei ankommt, bringen die gebräuchlichen graphischen Darstellungen dem Verständnis nicht nahe genug, weshalb wir einer von *Kaltbrunner* gezeichneten Figur (*Fig. 107*) den Vorzug geben. Im Inneren des Gebirges, welches die Sammelstelle des Regenwassers abgibt, befindet sich ein gewundener Gang; bei K kann das Wasser in eine Höhle einströmen, welche durch den Kanal CG mit der Aussenwelt in Verbindung steht. Solange das Wasser in dem grösseren Hohlraume nur etwa bis zum Niveau $A'B'$ und auch darüber hinaus sich gehoben hat, kann es nicht ausfliessen, vielmehr beginnt der Ausfluss erst dann, wenn der Spiegel den Horizont $ABGH$ erreicht hat, welcher den gekrümmten Kanal in seinem höchsten Punkte G berührt. Dies ist der *Scheitel eines Hebers*; der Bewegung des Wassers, zunächst nach aufwärts und sodann nach abwärts, steht also kein Hindernis mehr im Wege, und diese Bewegung wird nach dem bekannten hydraulischen Satze vom Heber andauern, *bis der Wasserspiegel am inneren Endpunkte des Hebers angekommen ist.* Dies ist bei uns der Punkt C; der durch ihn gelegte Horizont markiert denjenigen Wasserstand, mit welchem die Intermittenz der Quelle beginnt.

Fig. 107.



VII. *Stauquellen und intermittierende kalte Naturspringbrunnen.*

[1]) Genaue Nachrichten über die Quellenverhältnisse der Oasen am Nordrande der Sâhara hat *Martins* gegeben. Vielfach sind starke Quellen, förmliche Doues, von hause aus vorhanden; es sind die von den Arabern so genannten *Schreias*, zu deren Erzeugung nicht nur heutzutage an die Kunst des Ingenieurs appelliert wird, sondern nach *Photius* und *Ibn Khaldoun* bereits im Mittelalter appelliert worden ist. Die Oase von Sidi Rached wäre, als man Europäer zur Weiterführung eines von den Ortsbewohnern vergeblich begonnenen Bohrungswerkes berief, in kurzer Zeit dem fortschreitenden Wüstensande zur Beute geworden; nachdem aber der Erdbohrer ohne sonderliche Schwierigkeit eine Gipsbank durchstossen hatte, mit welcher die unvollkommenen Instrumente der Araber nicht hatten fertig werden können, sprudelte stromartig eine artesische Quelle von 4300 Liter Minutenführung hervor, und die Oase durfte sich als gerettet betrachten.

Während im vorigen Falle der Ausfluss sich ganz ebenso vollzog, wie bei irgendwelchen gewöhnlichen Quellen, kommt es auch vor, dass die lange vertrocknete Quelle mit plötzlichem Aufsprudeln ihr Wasser entsendet, um dann gleich wieder in die frühere Unthätigkeit zurückzusinken. Unter begünstigenden Umständen kann sich die Energie, mit welcher das Wasser hervorgestossen wird, derart steigern, dass eine *natürliche Fontäne von bedeutender Sprunghöhe* entsteht, selbstverständlich jedoch nur in Pausen. Wenn es sich so verhält, ist stets an *Stauprozesse des unterirdisch zirkulierenden Wassers* zu denken. Ziemlich einfach gestaltet sich noch der Verlauf bei den im Schweizer Jura vielfach anzutreffenden Stauquellen, den von *Reclus* beschriebenen „*Estavelles*“; der Name soll vom Languedoc stammen und durch *Fournet* in die wissenschaftliche Nomenklatur Eingang gefunden haben. Drei sehr merkwürdige Quellen dieser Art trifft man an, wenn man von Porrentruy aus in grader Linie auf den Abhang des Gebirges zugeht. In *Fig. 108* sehen wir den Durchschnitt des Bodens in der Nähe einer Estavelle vor uns. Zwischen den aus festem Gesteine bestehenden Schichten AA_1 und BB_1 läuft der Kanal CC_1 hin, der von dem porösen Gebirgsteile ausgeht, worin sich das Wasser ansammelt, und dessen Fortsetzung wir noch bei G wahrnehmen. Für gewöhnlich fliesst das Wasser ruhig in der Richtung des Pfeiles dahin; wenn jedoch lange andauernde Regengüsse oder schnelle Schneeschmelze eine allzu rasche und starke Wasserzufuhr bringen, so wird das im Gerinne nicht mehr unterzubringende Wasser in Pausen mit Gewalt ausgeworfen. Es findet hier ein Gesetz Platz, welches man als dasjenige des *Stosshebers* oder des *hydraulischen Widders* bezeichnet, und es kann deshalb eine kurze Darlegung der Grundsätze, auf welchen dieses früher mehr denn jetzt beliebte Rüstzeug der praktischen Mechanik beruht, nicht wohl umgangen werden. Zu dem Ende verweisen wir auf *Fig. 109*, welche

Fig. 108.

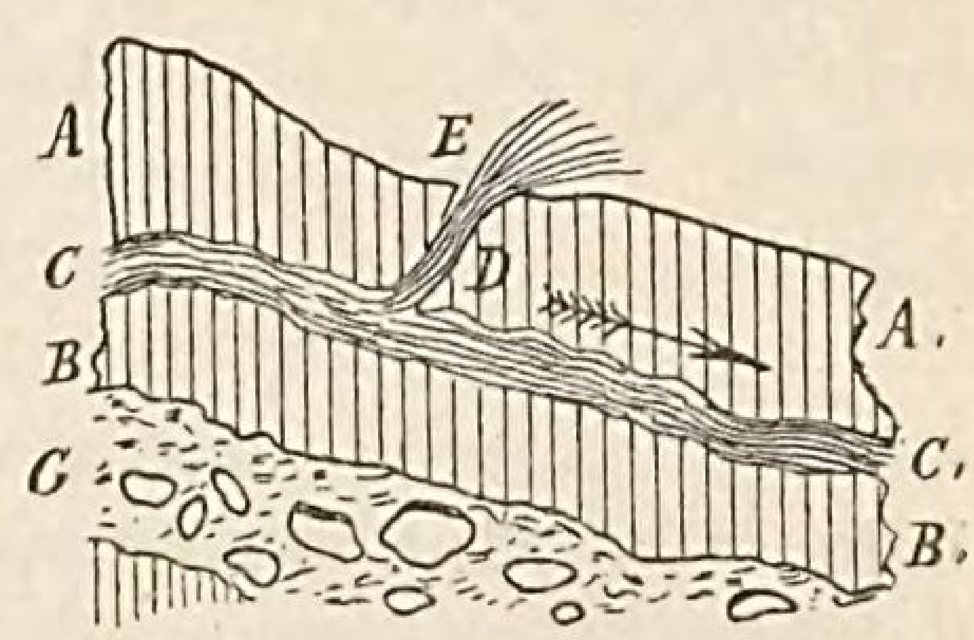
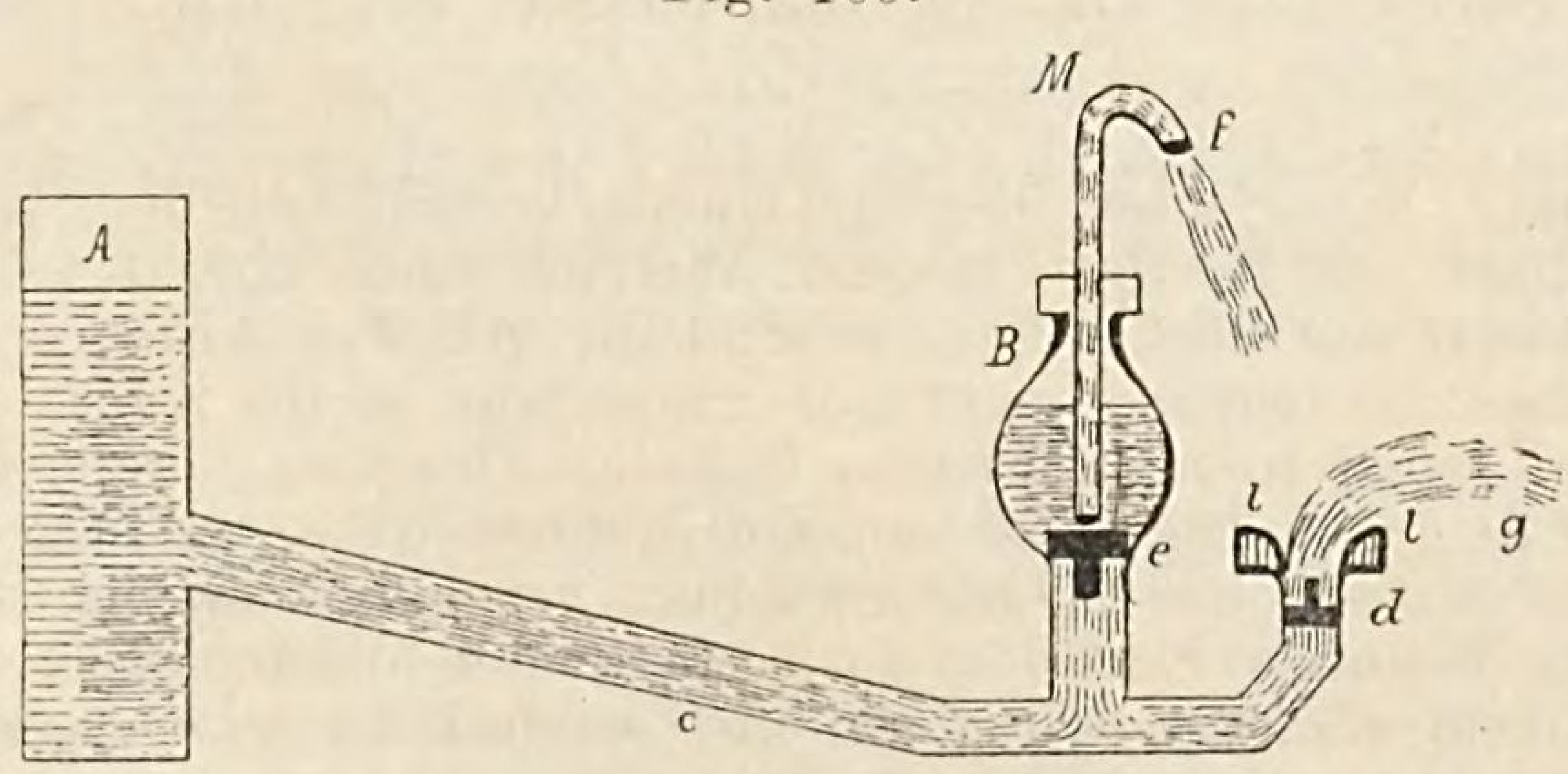


Fig. 109.



den Stossheber in seiner ältesten, von *Mongolfier* erdachten Form abbildet; diese ist wohl nicht die praktisch zweckmässigste, wohl

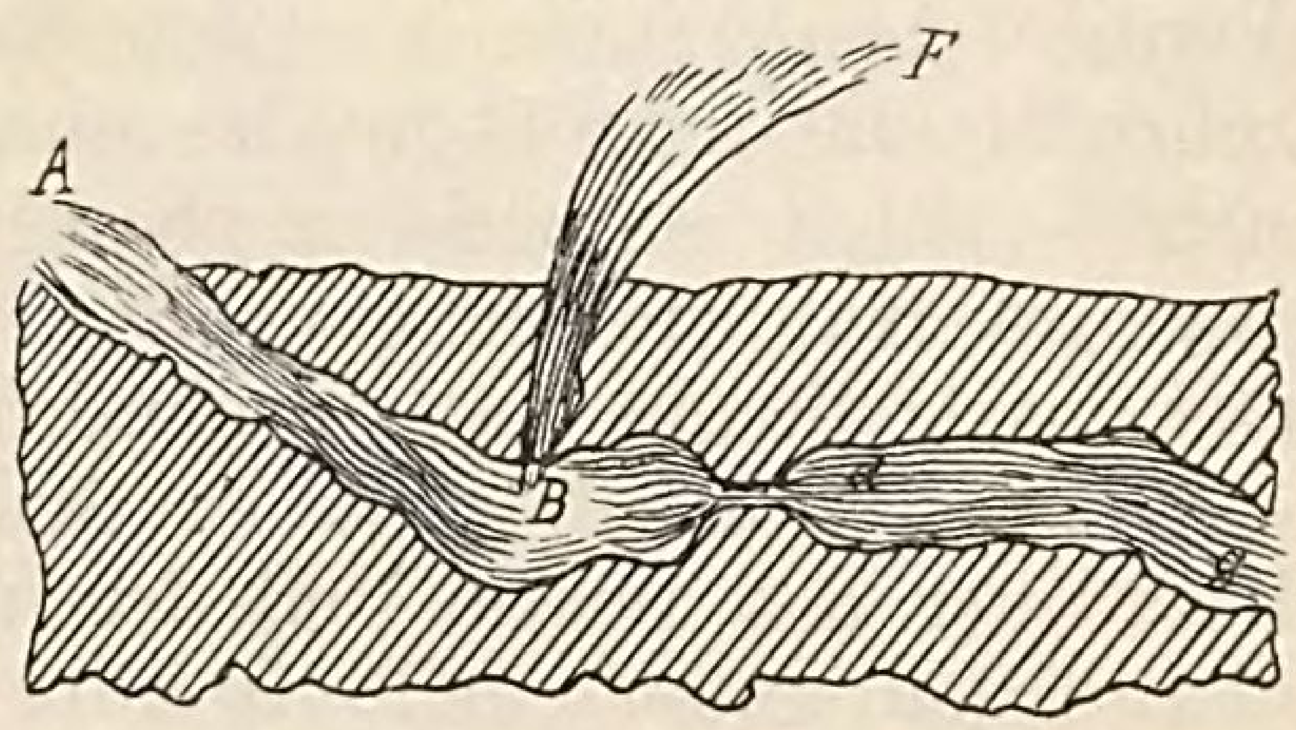
aber die am leichtesten zu verstehende. Aus dem Wassergefässe *A* führt ein geneigtes Rohr *c* nach einem horizontalen Rohrstücke, auf das ein vertikales aufgesetzt ist, während es später selbst wieder eine Umbiegung nach oben erhalten hat. Das vertikale Rohr erweitert sich bei *e* zu einem Ballon *B*[1]); der Zugang zu letzterem ist im Ruhezustande durch das einer aufwärts gerichteten Bewegung fähige Ventil *e* gesperrt, und in den Ballon mündet eine dünnere Vertikalröhre *M*, die umgebogen ist und bei *f* eine Ausflussöffnung besitzt. Ein Ventil *d* schliesst auch bei *l* den Ausgang des dreimal gebogenen Hauptrohres ab. Das herabrinnende Wasser stösst bei *e* auf ein Hemmnis, welches es nicht gleich zu bewältigen vermag; dadurch aufgestaut, stösst es das Ventil *e* auf, gelangt in den Windkessel, in dem die dortselbst befindliche Luft komprimiert wird, und diese expansionsfähige Luft hilft dazu, einen Teil des Wassers durch die Oeffnung *f* hinauszubefördern. Während dies vor sich geht, hat ein anderer Teil der eingeströmten Wassermasse das Ventil *d* gehoben und ist bei *g* ausgeflossen; hierauf kommt wieder das Ventil *e* an die Reihe, *und in dieser Weise geht das Wechselspiel der Ventile fort, indem abwechselnd bei g und f Wasserstrahlen austreten.* — So werden wir uns nun insbesondere bei den Karstgewässern, welche in engen, durch anderweiten Zustrom überfüllten, durch Erdfälle u. dgl. wohl auch verengten unterirdischen Kanälen zirkulieren, die Bewegung vorstellen dürfen. Das Auftreten intermittierender, bis zu ziemlicher Höhe aufschiessender Springquellen ist zum öfteren schon bezeugt worden, so von *Lorenz* und *Clesius* aus dem österreichischen Karstgebiete, von *v. Eichwald* aus der zerklüfteten Grauwackenformation Esthlands und der Insel Oesel. — Wir dürfen den Leser auch an die oben (S. 299) erwähnten, auf ein analoges Prinzip zurückzuführenden Bufaderos gewisser Inseln erinnern, und auch aus dem grönländischen Binneneise führt *v. Nordenskiöld* ein Vorkommnis dieser Art an, welches wir in die gegenwärtig behandelte Klasse von Erscheinungen einzubeziehen uns vollkommen berechtigt glauben. Da ausser jenem gewiss zuverlässigen Gewährsmanne noch niemand etwas ähnliches mit eigenen Augen gesehen hat, so lassen wir am besten den Originalbericht selbst reden[2]): „Ein kleinerer, obwohl ziemlich wasserreicher Fluss stürzte sich durch himmelblaue Klüfte hinunter in eine Tiefe, aus der kein spritzender Schaum wieder zur Mündung des Falles heraufstieg. Statt dessen aber sprang in der Nähe aus einem anderen kleineren Loche im Eise zeitweilig ein mit Luft untermischter Wasserstrahl hervor, welcher, vom Winde hin und her gepeitscht, mit seinem

[1]) Nur in dem einen Punkte weicht unser Bild von *Mongolfiers* Modell ab, dass wir an die Stelle einer einfachen Vertikalröhre den Windkessel *B* treten liessen. Man möchte vermuten, dass auch in der Natur die Austrittsstelle bei *B* (*Fig. 110*) nicht bloss einen einfachen Schlauch, sondern einen mit Luft gefüllten Hohlraum darstellte, weil ausdrücklich die Vermengung des ausgeworfenen Wassers mit atmosphärischer Luft betont wird.

[2]) *A. E. v. Nordenskiöld*, Grönland, seine Eiswüsten im Inneren und seine Ostküste, Leipzig 1886. S. 135.

Spritzen die umgebenden Eisklippen befeuchtete. Wir hatten hier mitten in der Wüste des Inlandeises einen Springbrunnen, welcher, der Beschreibung nach zu urteilen, dem von der Vulkanwärme auf Island erzeugten Geysir ähnlich sein muss.“ An eine solche Ursache denkt natürlich *v. Nordenskiöld* nicht im entferntesten, doch forscht er dem ursächlichen Zusammenhang nicht weiter nach. Wahrscheinlich hat sich der Wasserstrom von *A* aus einen Weg durch das Eis gebrochen, der bei *d* eine Verengerung aufweist und erst gegen *g* hin sich wieder verbreitert; ob diese Verengerung vielleicht unter dem Drucke der Eismassen, der es bis zu förmlicher Verkittung (s. den nächsten Abschnitt) bringen kann, mehr und mehr zunimmt, bis sich die Stosskraft des andringenden Wassers den Durchpass aufs neue erkämpft hat, das bleibe dahingestellt. Jedenfalls muss, wenn bei *d* einige Zeit das Wasser nur in schmalem Querschnitte abfliessen kann, der Druck der nachströmenden Fluten das gestaute Wasser in Form einer Naturfontäne, wie sie der schwedische Naturforscher gesehen hat, intermittierend herausbefördern.

Fig. 110.



VIII. *Intermittierende heisse Naturfontänen.* Springbrunnen, welche in Pausen von angenähert gleichen Intervallen heisses Wasser auswerfen, werden mit dem in Island gebräuchlichen Namen als *Geysirs* bezeichnet. Bis gegen die Mitte unseres laufenden Jahrhunderts sah man in Island auch das alleinige Vaterland dieser Heisswasserbrunnen, aber seitdem haben sich unsere geographischen Kenntnisse beträchtlich erweitert, und man weiss jetzt, dass es auf der Erde *drei ausgezeichnete Geysirterritorien* gibt: *Island*, *das Yellowstone-Gebiet* im amerikanischen Staate Wyoming und *die Nordinsel von Neuseeland*. Welchem der drei man die Palme besonders grossartiger Naturerscheinungen zuerkennen soll, kann zweifelhaft erscheinen, denn überall sind Besonderheiten zu verzeichnen, wie dies eine gedrängte Uebersicht über die vorzüglichsten Gebilde dieser drei Regionen darthun wird.

Wir beginnen mit der nordatlantischen Insel; ihre Geysirs sind durchweg entweder *saure* oder *alkalische Kieselerdequellen*. Am bekanntesten ist der *„grosse Geysir“* [1]), ein vielleicht 20 bis 25 m tiefes, dem Anscheine nach vollkommen zylindrisches Rohr, welches senkrecht in die Erde eindringt und sich oben zu einem flachen, sanft geböschten Becken ausweitet. Wer in der Zwischenzeit zwischen zwei Paroxysmen an dieses Becken herantritt, sieht nur klares,

[1]) Nach *Hirschberg* findet man die ersten Nachrichten über diesen Geysir („geysa“ altnordisch = sich ergiessen) bei dem Historiker *Saxo Grammaticus* im XII. und die ersten genauen Angaben bei dem Bischof *Svenson* im XVII. Jahrhundert.

grünes Wasser vor sich, aus dem nur ab und zu Gasblasen aufsteigen. Diese vermehren sich, platzen und bewirken, dass heisses Wasser in die Höhe geschleudert wird, doch tritt bald wieder Ruhe ein. Dieser Prozess wiederholt sich alle $1^{1}/_{4}$ bis $1^{1}/_{2}$ Stunden, hat jedoch nichts gemein mit den grossen Eruptionen, welche in längeren, vonvornherein nicht scharf zu bestimmenden Intervallen erfolgen. Das Wasser im Becken schwillt plötzlich an, die Entwicklung der Gas- und Dampfblasen wird eine lebhaftere, und mit einem male schiesst ein weisser Strahl 30 m hoch empor, dem rasch ein paar andere, vielleicht noch mächtigere Springgarben nachfolgen. Der letzte Strahl ist gewöhnlich der höchste; ist er aufgestiegen, und hat sich der begleitende dichte Dampf verzogen, so erblickt der Beschauer das Bassin und den oberen Teil des Steigrohres geleert, und tiefer unten stellt sich eine ganz ruhige Wasserfläche dem Blicke dar. Nach ein paar Stunden hat langsam aufsteigendes Wasser den trocken gelegten Raum wieder ausgefüllt, und wieder dauert es mehrere Stunden, bis sich die ersten schwachen Detonationen aufs neue bemerklich machen. Der ziemlich weit vom grossen entfernt gelegene *„kleine Geysir“* hält die Termine seiner Eruptionen, nahezu vier Stunden, weit genauer ein, auch ist der Verlauf ein anderer. Lebhafte Dampfentwicklung und dumpfes Geräusch leiten den Ausbruch ein; zuerst zeigt sich dann kochender Wasserschaum, den dann immer höher und höher werdende Springstrahlen ablösen, welche sich jedoch immerhin mit denen des grossen Geysirs an Höhe nicht messen können. Dann tritt eine Rückbildung ein, indem sich dieselben Phasen genau in der entgegengesetzten Reihenfolge ablösen, und nach einer kleinen halben Stunde ist der Ruhezustand wieder erreicht. Während also bei diesen beiden Heisswasserbrunnen die Ruhe den gewöhnlichen Zustand darstellt, befindet sich in dem zur Umgebung des grossen Geysirs gehörigen *„Strokkr“* („Butterfass“) das Wasser ununterbrochen in Wallung, und so kommt es denn in ihm sowohl zu häufigerer Springstrahlenbildung, als auch erreichen diese Strahlen die ausserordentliche Höhe von 40 bis 45 m; dafür aber ist der Verlust an Wasser, welchen eine solche gewaltige Explosion beim Strokkr zuwege bringt, viel geringer als beim grossen Geysir. — Eine noch weit verblüffendere Mannigfaltigkeit der Geysirphänomene tritt dem den amerikanischen Nationalpark [1]) Bereisenden entgegen; der Unionsgeologe *Hayden* hat diese Naturwunder zuerst eingehend gewürdigt, aber seitdem haben wir auch von deutscher Seite nähere Nachrichten darüber erhalten (*Hirschberg, Toula, v. Zittel*). Da sind zuvörderst erloschene Geysirs, welche riesige Sintersäulen und Terrassenbassins — nach Art der neuseeländischen und der kleinasiatischen von Hierapolis — hinterlassen haben, zumal das *„Riesengrab“* und die *„Freiheitsmütze“*. Von den aktiven Geysirgegenden, welche in ihrer Gesamtheit den Park er-

[1]) Die Regierung der Vereinigten Staaten hat diese merkwürdige Erdstelle unter dem Namen *„Nationalpark“* unter ihren besonderen Schutz gestellt und jede Ansiedlung auf dem ganzen Gebiete untersagt.

füllen, erscheinen am bemerkenswertesten das *„Norris-Becken“* mit einer Unzahl von Naturkochbrunnen, Fumarolen und Solfataren (S. 141), und die *„Farbentöpfe“*, aus denen sprudelartig ein verschieden pigmentierter Schlammbrei ausfliesst; allenthalben pfeifen rings herum Dampfventile, die mit schönen Schwefelkrystallen geschmückt sind. Auf der höchsten Erhebung liegt der mehr einem Schlammvulkane ähnelnde *„Schmutz-Geysir“*. Als das mächtigste Individuum dieser Art kann der *„Springquell-Geysir“* gelten, welcher alle vier Stunden zu arbeiten und seine Garben 15 m hoch emporzusenden pflegt; ihm kann sich fast der *„Excelsior-Geysir“* vergleichen, der auch Steine auswirft und zu Zeiten als Heisswasserstrom sein eigenes Becken überflutet. Am nächsten kommt dem isländischen Typus der *„alte Getreue“* (*„Old Faithful“*), während sich der *„Bienenkorb“* durch die grosse Regelmässigkeit seiner Ausbrüche, alle 24 Stunden einmal, auszeichnet. Herrliche blaue Farbe ist der Schmuck des *„Haubenbrunnens“*, während der *„junge Getreue“*, dem Strokkr (s. o.) vergleichbar, überhaupt niemals aus der Aktion herauskommt. Einst der stärkste Geysir, ist der *„Schloss-Geysir“* heute schon ziemlich müde geworden; er befindet sich in ausgesprochenem Verfalle, und sein gewaltiger Krater gemahnt an eine Burgruine. Eine besondere Rarität endlich stellt sich dar in der *„Punschbowle“*, einem kleinen Bassin, dessen versinterter Rand so regelmässig gearbeitet aussieht, als sei er zu diesem Zwecke eigens von kunstfertiger Menschenhand angefertigt worden. — Die neuseeländischen *Puias* (Máori-Sprache) liegen auf zwei Vulkanspalten zu beiden Seiten des *Taupo-Sees* und kündigen sich schon von ferne durch ihre Dampfentwicklung an. Mehr denn hundert Stellen gibt es, denen heisser Dampf entquillt; von einem einzigen Standorte aus konnte *v. Hochstetter* nicht weniger denn 76 solche Punkte mit den Augen erkennen. Doch sind nur einige dieser Exhalationsstätten als intermittierende Heisswasserquellen im eigentlichen Sinne anzuerkennen.

Wenn wir uns nun zur Erklärung dieses so ganz eigenartigen Komplexes von Erscheinungen wenden, so ist zunächst ersichtlich, *dass es zum Zustandekommen derselben notwendig eines vulkanischen Untergrundes bedarf,* und eben deshalb ward auch schon oben, in dem von dem Vulkanismus handelnden Kapitel, der *Geysirs* vorübergehend (S. 140) gedacht. *Daubrée* bringt die Heisswasserbrunnen mit den Solfataren und Fumarolen in den engsten Zusammenhang und glaubt, dass benachbarte Gebilde dieser Art subterran unter sich kommunizieren, resp. dass alle Schächte derselben zu gemeinsamen Reservoirs führen, bis zu denen das einsickernde Wasser vordringt, um sich daselbst die zur Herbeiführung der bekannten Eruptionen erforderliche Erhitzung zu holen. Uebrigens denkt *Daubrée* nicht durchweg dabei an aktive Vulkane, sondern er hält dafür, dass selbst tertiäres Eruptivgestein, das sich die eingepflanzte hohe Wärme noch zum teile bewahrt hat, als der eigentlich kalorische Faktor angesehen werden könne. Das Yellowstone-Gebiet, in dessen nicht gar grossem Bereiche jede nur denkbare Spielart

vulkanischer Aktionsform sich zusammenfindet, scheint *Daubrée*s Ansichten zur Bestätigung dienen zu können.

Hiemit ist jedoch nur die Ursache im allgemeinen gekennzeichnet; die näheren Umstände eines jeden Geysir-Typus erheischen noch eine besondere Untersuchung, und zwar haben sich die Forscher überzeugen müssen, dass das Schematisieren hier noch weniger als sonst in der Erdphysik möglich, dass vielmehr jeder Vorgang in seiner eigenen, anderwärts nicht mehr zutreffenden Weise zu erklären ist. Für gewisse Modalitäten, wie sie namentlich durch den kleinen Geysir vertreten sind, genügt zweifellos die ältere *Bergman-Mackenzie*sche Theorie, welche *Fig. 111* erläutert. Der Hohlraum *C* mündet durch den Kanal *B* in das Steigrohr *A*; dieses,

Fig. 111.

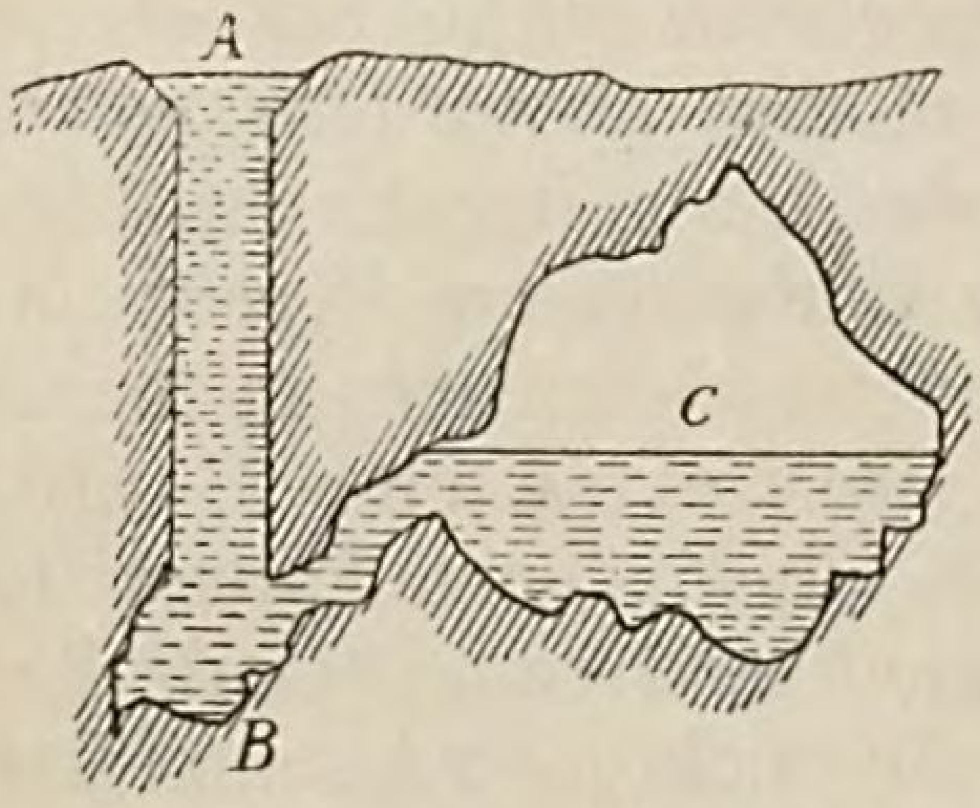
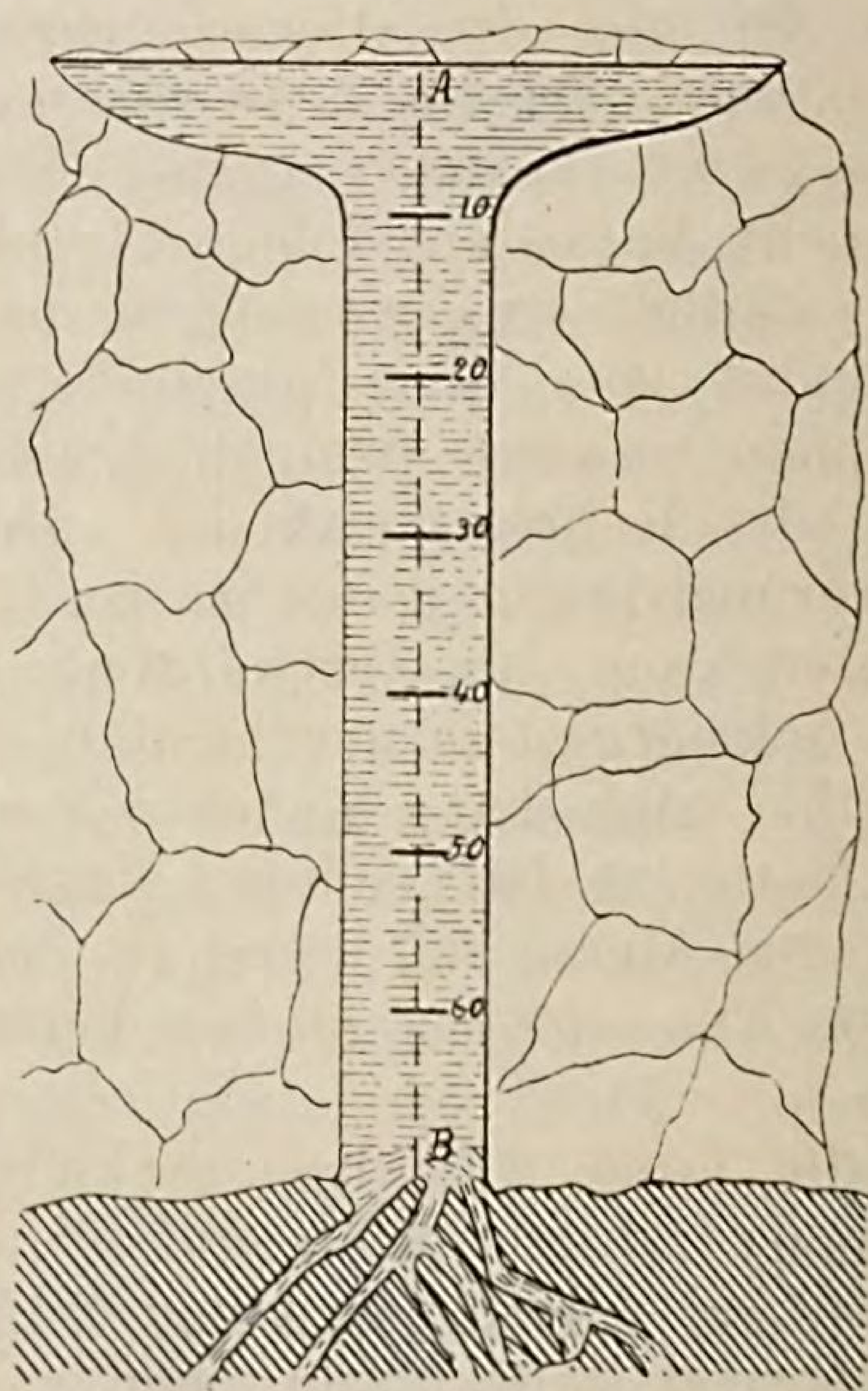


Fig. 112.



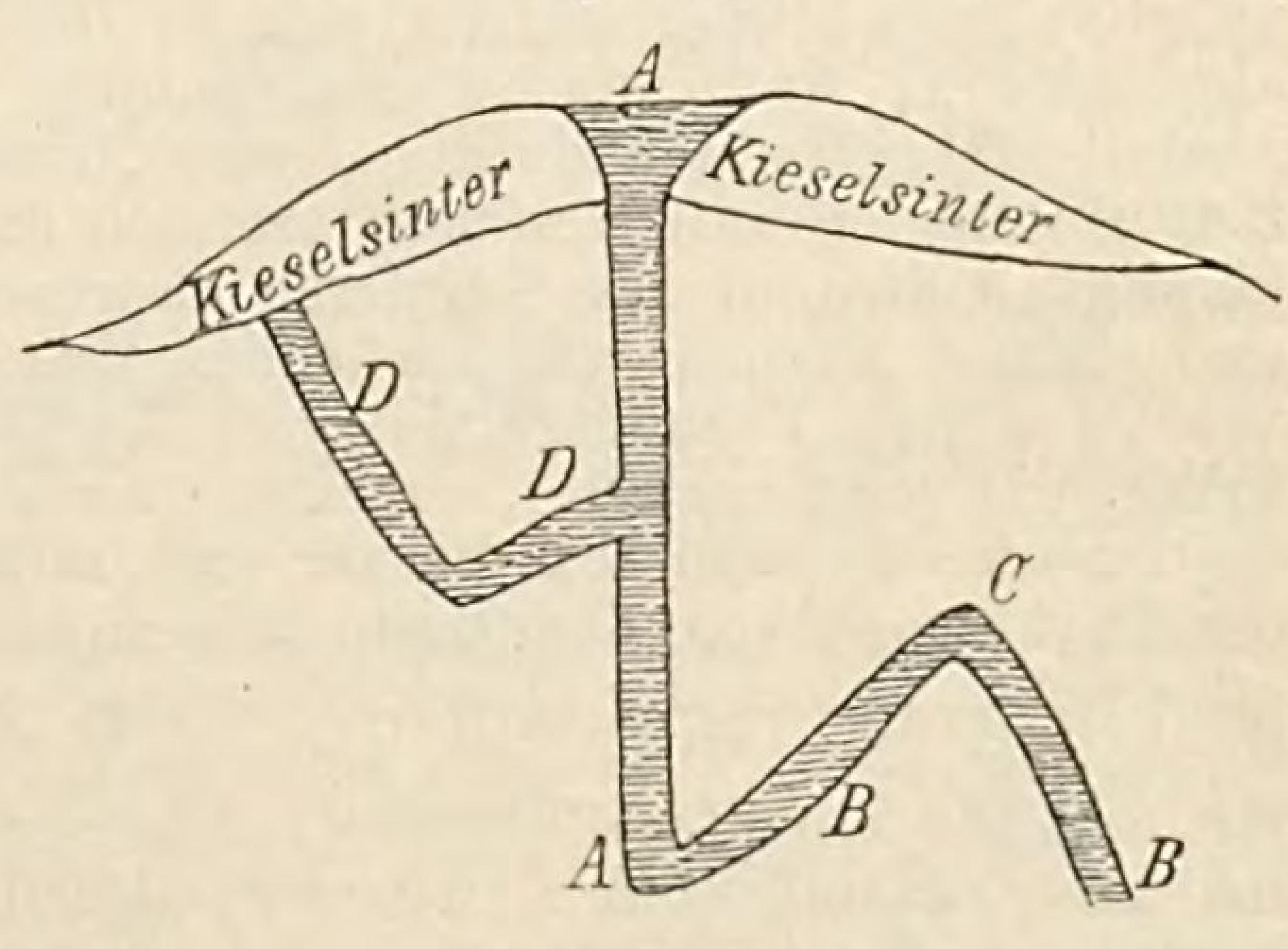
das Verbindungsrohr und ein Teil von *C* sind mit heissem Wasser gefüllt, welches, wenn eine Entleerung stattfindet, aus den verborgenen Verbindungswegen mit dem Glutherde immer wieder sich ergänzt. Der leere Teil von *C* füllt sich allgemach mit Dämpfen von immer mehr sich steigernder Spannung, und wenn diese an der Grenze angelangt ist, so tritt eine Explosion ein, welche alles Wasser hinausschleudert. Da jener Spannungsgrad immer der gleiche sein wird, so müssen Geysirausbrüche, für welche diese Erklärung zulässig sein soll, einen ausgesprochen *periodischen Charakter* tragen.

Anders beim Typus des grossen Geysirs, dem eine scharf bestimmte Periodizität gänzlich mangelt, der vielmehr den Eindruck des Launenhaften hervorruft. Für ihn ist *Bunsen*s Hypothese die fast allgemein angenommene; sie beruht auf gründlichen Ortsstudien und mag an der vom Autor selbst angegebenen *Fig. 112* auseinandergesetzt werden. Die Entfernung *AB* zwischen dem normalen Wasserspiegel und dem unteren Ende *B*, welchem aus den Rohrsträngen *C*, *D*, *E*, *F*, *G* stetig neues erhitztes Wasser zuströmt, ist in Abschnitten zu je 10 Fuss (engl., nach *Bunsen*) geteilt; denkt man

sich in den Teilpunkten Horizonte gelegt, so kann man berechnen, einen wie grossen Druck die Flächeneinheit jedes solchen Horizontes durch die über diesem lastende Wassersäule in Verbindung mit der Atmosphäre auszuhalten hat. In der Tiefe von 50 Fuss, d. h. 20 Fuss über dem Grunde des Brunnenschachtes, wurde von *Bunsen*, kurz ehe eine Eruption begann, eine Temperatur von gegen 122° gemessen; obwohl dies eine weit höhere Temperatur ist, als diejenige, bei welcher unter normalen Verhältnissen Wasser zu sieden beginnt, so kommt es doch nicht so weit, *weil mit zunehmendem Drucke der Siedepunkt sich erhöht.* Erst bei 124° würde das Wasser des bezeichneten Niveaus in die Aenderung seines Aggregatzustandes eintreten, und was für dieses sehr tiefe Niveau gilt, das trifft auch ebenso für alle höheren Horizonte zu, so dass man also ganz allgemein sagen darf: *Solange Rohr und Becken gefüllt sind, verhindert der auf der eingeschlossenen Masse lastende Druck es, dass dieses Wasser, obgleich es in den unteren Partien hochgradig überhitzt ist, ins Sieden kommen kann.* Nun findet aber immer eine wenn auch nicht besonders lebhafte Vertikalzirkulation im Rohre statt, welche kältere Wassermengen nach unten, wärmere nach oben bringt und jene oben geschilderten kleinen einleitenden Dampfexplosionen zuwege bringt, kraft deren eine oberflächliche Entleerung des Rohres stattfindet. Damit geht auch eine lokale Temperaturerniedrigung hand in hand, welche sich jedoch nicht lange behaupten kann, da fortwährend heisses Wasser nachströmt, und da das solchergestalt neu erhitzte Wasser nicht mehr die Wassersäule über sich hat, die es vor der oberflächlichen Explosion zu tragen hatte, so teilt sich der Anstoss zum Sieden mit einem Schlage der ganzen Masse mit, und es erfolgt in rascher Folge eine Anzahl von Explosionen, wie sie beim grossen Geysir eben beobachtet werden.

Otto Lang will diese Erklärung deshalb nicht gelten lassen, weil seiner Ansicht nach nicht die oberen Partien für sich allein den Siedepunkt erreichen können, während tiefer unten das Wasser noch ziemlich weit von diesem entfernt ist. Er nimmt an, dass das Hauptrohr *A* (*Fig. 113*) in ein Knierohr *B* übergehe, an dessen oberster, dem Erdboden nächst gelegener Stelle *C* der Siedeprozess sich zuerst einleite. Das in *A* befindliche Wasser bildet ihm zufolge lediglich den *hydraulischen Verschluss*, den die Dampfentwicklung gewaltsam entfernt. Durch ein zweites Knierohr *D* von umgekehrter Biegung oder Knickung ströme dann kaltes Wasser zu, das sich allmählich erwärmen soll, und so wäre allerdings auch eine gewisse Periodizität

Fig. 113.



des Vorganges recht wohl begreiflich. Geistreich ist diese Hypothese gewiss, auch streitet sie nicht gegen anerkannte Gesetze der Naturlehre, allein darin müssen wir *Zöppritz* Recht geben, dass den Preis der Einfachheit jedenfalls die *Bunsen*sche Auffassung davonträgt.

IX. *Intermittierende Gassprudel.* Nicht bloss Stauung, nicht bloss die instantane Expansion überhitzter Flüssigkeitsmassen kann intermittierende Naturfontänen zum Sprudeln bringen; es kann dies vielmehr auch durch den *Auftrieb von Gasen* geschehen. Einen sehr bekannten Kohlensäuresprudel in den Karpathen, der einen mächtigen Springstrahl liefert und seine Nahrung aus trachytischem Gesteine zieht, hat *Ludmann* beschrieben, und *Henrich* hat die Theorie solcher zugleich teilweise in das Erscheinungsgebiet der artesischen Brunnen übergreifenden Springquellen entwickelt [1].

X. *Brackwasserquellen und Meermühlen.* In den Gehängen zerrissener, verkarsteter Küstengebirge springen, allerdings nur in seltenen Fällen, *Quellen mit brackischem Wasser* hervor, welche man als Mineralquellen zu deuten kein Recht hat, von denen aber überhaupt nicht einzusehen ist, wie sich zu ihrem Wasser ein Salzgehalt hinzugefunden haben möge. Neuerdings glaubt man diesem ungewöhnlichen Verhalten auf die Spur gekommen zu sein, indem man solche Quellen als Folgeerscheinungen der sogenannten *Meermühlen* auffasst. Es kommt nämlich vor, dass das Meer in das zerklüftete Gestein des Ufers, gleich als in einen Abgrund, hineinstürzt, um nicht wieder zum Vorschein zu kommen, und da in dem bekanntesten Falle diese Bewegung stark genug ist, um zwei Mühlen zu treiben, so spricht man überhaupt von Meermühlen. *Lorenz v. Liburnau* hat solches Einströmen des litoralen Meerwassers, wennschon nur in kleinem Masstabe, am *Quarnero* beobachtet; ungleich grossartiger aber entfaltet sich die Erscheinung bei den berühmten *Meermühlen von Argostoli,* welche an einer vorspringenden Halbinsel der jonischen Insel Kephallenia belegen sind. Genaue Messungen

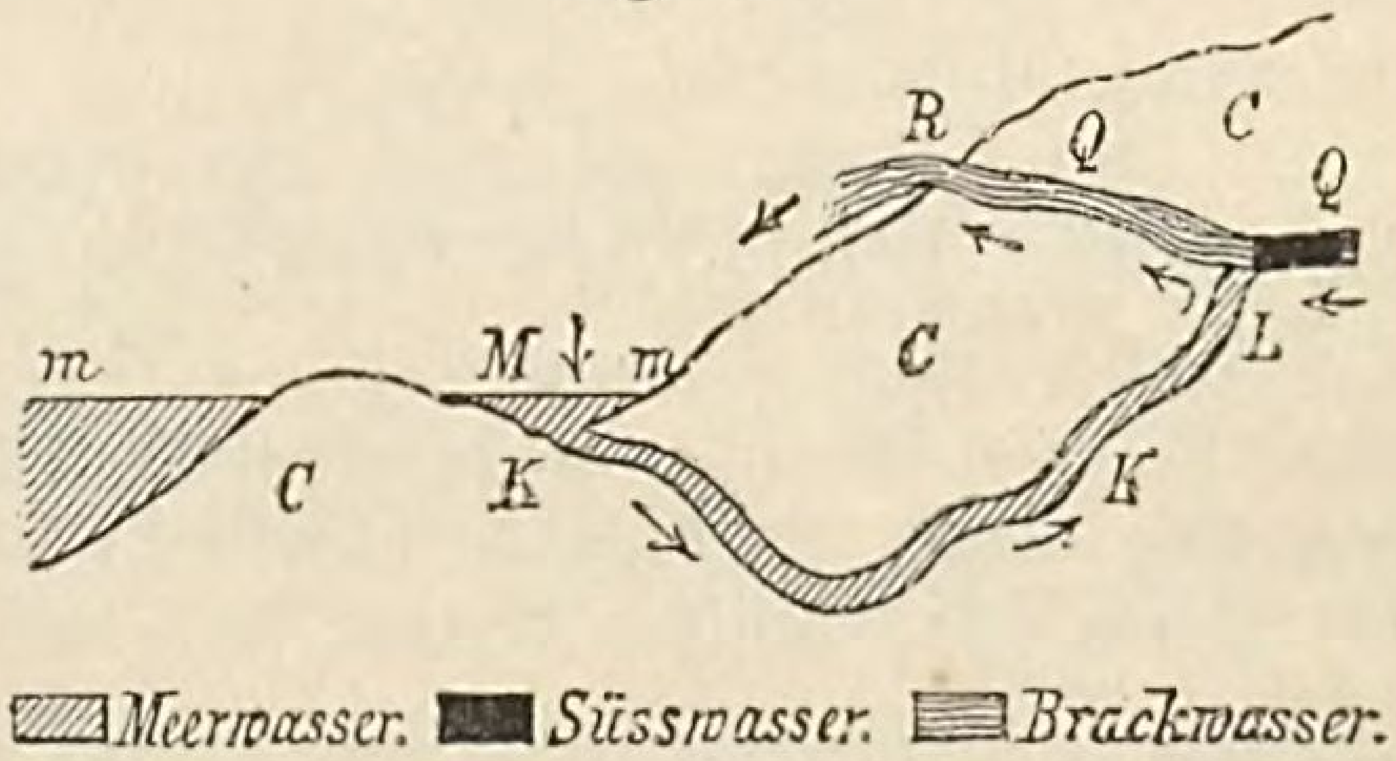
[1]) Bei diesem Anlasse darf wohl einer merkwürdigen Erscheinung erwähnt werden, über welche sich *F. Roth* vor den Mitgliedern der in Bremen abgehaltenen Naturforscherversammlung ausgesprochen hat. Ein im Dorfe Andestorf bei Buxtehude angelegter Brunnen von 28 m Tiefe lässt von Zeit zu Zeit ein sonderbares Geräusch ertönen, das sich wie fernes Glockengeläute ankündigt, später an das Schwirren eiserner Räder in einem Fabriksaale erinnert und zuletzt ähnlich wie kochendes Wasser braust. Bis zu einer Entfernung von 27 m vom Brunnenrande sind die Töne noch deutlich vernehmbar. Versuche, die *Roth* anstellte, machen es wahrscheinlich, dass eine *Gasentwicklung im Grundwasser* vorliegt. Ferner erweist sich die grössere oder geringere Stärke des Geräusches von den Luftdruckschwankungen abhängig; sehr rasches und energisches Fallen der Quecksilbersäule wird von besonders lebhaften Detonationen begleitet. Dies kann nicht auffallen, da ganz allgemein die Intensität, mit welcher eine Quelle fliesst, durch den Druck der Luft beeinflusst wird, und zwar zumeist dann, wenn die Quelle nicht reines, sondern mit Gas gemengtes Wasser liefert. *Cartellieri* hat an den kontinuierlichen Gassprudeln von Karls- und Franzensbad bemerkenswerte Wahrnehmungen dieser Art gemacht, und von den „*Wetterbrunnen*“ bei Modena wurde bestimmt behauptet, sie liessen sich, je nachdem das Wasser trüb oder rein ihnen entfliesse, als ein Hilfsmittel zur Wetterprognose verwenden.

ergaben, dass an dieser Stelle im Tage eine Wassermasse von 58300 cbm, anscheinend auf Nimmerwiedersehen, verschwindet.

Die Ansicht *Moussons*, dass durch ungleiche Erwärmung der niedersteigenden Wassermasse ein Auftrieb gegeben und eine förmliche Vertikalzirkulation eingeleitet werde, dass also das durch die Mühlen hindurchgegangene Wasser nur vorübergehend im Gesteine seinen Weg fortsetze und dann gleich wieder dem freien Meere zurückgegeben werde, diese Ansicht scheint physikalisch deshalb nicht haltbar, weil sich für das Aufsteigen des Zirkulationsstromes nirgendwo im Meere Anzeichen entdecken lassen. Ungleich plausibler erscheint eine von *Fouqué* begründete, von *Wiebel* weiter ausgeführte Hypothese, welche eben vor allem auch darauf bedacht nimmt, dass Süsswasserquellen auf der Insel sehr selten, salzige dagegen ebenso häufig sind. Dies bestätigt der beste Kenner der Oertlichkeit, *Partsch*, indem er besonders anführt, dass man bei Versuchen, den schlechten Trinkwasserverhältnissen durch Anlegung artesischer Brunnen zu begegnen, ein unerwünschtes Resultat erzielte: das Wasser kam im Steigrohre nur zu einer gewissen Höhe empor und schmeckte zudem salzig. Es scheint sich durch den Karstfels ein vom Meere und zugleich von Süsswasserquellen gespeistes Brackwasserbassin von grosser unterirdischer Ausdehnung hindurchzuziehen, dessen Niveau konstant 1,5 m unter dem eigentlichen Meeresspiegel verharrt. Von ihm aus führen, das geht aus dem Karstcharakter der Gegend unzweifelhaft hervor, unzählige Verbindungswege zu höheren Horizonten; mit *Fouqué* begreift man auch leicht, dass das brackische Wasser in jenen, dem Prinzipe der kommunizierenden Röhren folgend, bis zum Meereshorizonte emporsteigt, aber darüber, wie ein noch höheres Steigen erreicht wird, scheint zunächst eine befriedigende Auskunft nicht erteilt werden zu können.

Wiebel hat jedoch eine Möglichkeit angedeutet, diesem Mangel abzuhelfen, und es dürfte auch seine Anschauung allseitige Zustimmung gefunden haben, obwohl seine Darstellung, wie wir glauben, nicht völlig erschöpfend ist. Er zieht die Lehre vom negativen Drucke herbei: strömt eine Flüssigkeit mit ausreichender Geschwindigkeit durch eine Röhre, und mündet in letztere eine zweite, die auch mit Flüssigkeit gefüllt ist, jedoch nicht bis zur Mündungsstelle, so übt die Strömung eine wirkliche Anziehung auf die ruhende Masse aus; dieselbe wird emporgerissen und genötigt, an der Strömungsbewegung teilzunehmen. Unsere *Fig. 114* gibt ein Bild von den mutmasslichen Vorgängen auf Argostoli. *mm* ist der Meeresspiegel, *C* das Küstengebirge, *M* der Ort, an welchem die Meermühlen angebracht sind.

Fig. 114.



Senkrecht stürzt das Meerwasser in die Kluft und gelangt in einen Kanal *K*, in dem es an und für sich bis zu der durch den Meereshorizont *mm* bestimmten Höhe aufsteigen würde. Der Schlauch *K* mündet bei *L* in einen von grösserer Höhe herabführenden Quellstrang *Q* süssen Wassers; der negative Druck des mit beträchtlichem Gefälle an *L* vorbeifliessenden Wassers aspiriert das in *K* stehende Salzwasser, es tritt eine stetige Vermischung ein, und bei *R* tritt demzufolge eine der uns bekannten Brackwasserquellen hervor. Fraglich erscheint uns nur, ob auch in höheren Bezirken der Insel die Aspiration noch so kräftig auftreten kann, wie es die *Wiebel*sche Theorie erfordert. Es wäre wohl denkbar, ja es ist wahrscheinlich, dass dem einen hydrodynamischen Prinzipe ein zweites zu Hilfe kommen muss, dasjenige des Sprungkegels, das wir oben schon (S. 299) erläutert haben. Beim „Aufsteigen im Flaschenhalse" kann das Wasser weit grössere Höhen überwinden, als das Gesetz der kommunizierenden Röhren, und auch noch grössere, als das Gesetz des negativen Seitendruckes gestatten würde, und so dünkt uns denn, es sei die Schwierigkeit am besten durch eine Vereinigung beider Prinzipien zu beseitigen. *Das in das Brackwasserbassin eingesaugte Meerwasser erhebt sich in den Spalten des Gesteines zufolge einer Kombination der Gesetze vom negativen Seitendrucke und vom Sprungkegel zu solcher Höhe, dass es in die höher gelegenen Süsswasseradern zu gelangen und diese zu Brackwasserquellen umzugestalten vermag.*

Strömende Gewässer. Bei dieser Erörterung bleiben alle diejenigen Verhältnisse zunächst ohne Beachtung, welche sich auf die Wechselbeziehung zwischen dem fliessenden Wasser und den Teilen der Lithosphäre, durch welche jenes seinen Weg nimmt, erstrecken. Ausschliesslich die *Physik des fliessenden Wassers*, mag dasselbe nun in schwachen oder stärkeren Mengen und Geschwindigkeiten, mag es in Form von *Bächen* oder *Flüssen* sich uns darstellen, soll uns diesmal beschäftigen, während die sehr wichtigen morphologischen Fragen den Abschnitten XVI und XVII zur Erörterung überwiesen bleiben.

Die Flüsse, wie wir zusammenfassend alle in translatorischer Bewegung befindlichen Gewässer nennen wollen, entstammen zum grössten Teile den Quellen; wenn ein Fluss aus einem See abströmt, so ist er doch in der Regel nur die unmittelbare Fortsetzung eines an anderer Seite [1]) in den See eingeströmten Flusses, wo dann also beide Wasserläufe *als ein einheitliches und zusammengehöriges Ganzes* anerkannt werden müssen. So durchfliesst der Rhein den Boden-See, der Rhone den Genfer-See, so dient jeder der grossen oberitalienischen Seen einem Flusse als *Läuterungsbecken*,

[1]) Der Regel nach befinden sich Aus- und Eintrittsstelle einander diametral entgegengesetzt, doch kommen auch Ausnahmen vor. So verlässt der *Somerset- (Viktoria-) Nil*, der Ausfluss des Ukerewe, den Albert-See schon wieder bald, nachdem er in ihn eingetreten ist.

und mit Erfolg hat man neuerdings sich auch bemüht, unterseeische, vom Flusse gegrabene *Stromfurchen* [1]) ausfindig zu machen, während man (S. 330) auch an der Oberfläche und im Inneren hie und da schwache Strömungen beobachtet.

Die Geographie unterscheidet zwischen *Haupt-* und *Nebenflüssen*, welch letztere wieder *Zuflüsse* in sich aufnehmen. Was man freilich im gegebenen Falle als Haupt- und was man als Nebenstrom bezeichnen soll, das ist bei vielen Stromsystemen sehr schwer zu sagen, und eine tief eindringende Untersuchung von *Wisotzki* belehrt zur genüge darüber, dass sich ganz untrügliche Kennzeichen hiefür nur schwer aufstellen lassen. Sind die zwei zusammenkommenden Flüsse von ungefähr gleicher Stärke, so sieht man in ihnen *Quellflüsse* oder Komponenten eines mächtigeren Stromes, des die Resultante aus jenen bildenden *Hauptflusses* (Werra + Fulda = Weser; Brigach + Brege = Donau) [2]). *Küstenflüsse* haben nur einen kurzen Lauf, *Steppenflüsse* verlieren sich im Sande (*Heri-Rud*) oder in Salzpfannen und Sümpfen, wie dies besonders für die Wasserläufe im südafrikanischen Dreiecke gilt [3]). Manche Flüsse enden in einem See, dessen Oberfläche der starken Verdunstung wegen durch jene niemals bedeutend über das gewöhnliche Niveau erhöht werden kann; so nimmt das Tote Meer den Jordan, der Aral-See den Amu- und Syr-Darja, der Issyk-Kul in Russisch-Turkestan den Saumal-Kul auf. Ueberaus schwankend ist in solchen Ländern, in denen ein grosser Fluss die Gebiete an die Scholle gehefteter, die verschiedensten Sprachen sprechender Volksstämme durchzieht, die Bezeichnung, indem jede einzelne Laufstrecke ihren besonderen Namen führt, und wesentlich dieser Umstand hat es verschuldet, dass über die Geographie und Hydrographie von Innerafrika so lange die grösste Unklarheit herrschen konnte [4]). Wenn wir die Eigenart eines Flusses schildern wollen, so haben wir auf fünf Punkte vorwiegend unser Augenmerk zu richten: auf das *Strombett*, dessen wechselndes Gefälle zugleich dasjenige des Flusspiegels selbst bestimmt, auf das *Stromgebiet*, die *Stromentwicklung*, die *Geschwindigkeit* und die *Wassermenge*.

[1]) Zumal am Genfer-See hat *Forel* die Furche des Rhone ausgemittelt. Wenn eine solche vorhanden, so bemerkt man dies häufig daran, dass das eine von der des Sees abweichende Farbe zeigende Flusswasser diese seine Farbe nicht in langsamem Uebergange verliert, sondern dass der Bereich letzterer mit einem scharf abgeschnittenen Rande endet; von da aus sinkt eben das Flusswasser jäh in seine Laufrinne hinab. Beim Einflusse der Amper in den Ammer-See kann man diese scharfe Grenze mit Leichtigkeit erkennen.

[2]) Vereinigen sich zwei grosse Flüsse erst kurz vor ihrem Austritte in die See (Euphrat + Tigris = Schatt-el-Arab), so nennt man sie *Zwillingsströme*.

[3]) Auch der *Schari* muss eigentlich dieser Kategorie zugezählt werden, insofern der ihn aufnehmende Tsade-See nicht viel mehr als ein gigantischer Sumpf ist.

[4]) So führt z. B. einer der wichtigsten Nebenflüsse des Kongo, wie *Junker* und *Casati* ermittelt haben, nicht weniger denn fünf verschiedene Bezeichnungen, von denen *Maqua*, *Uëlle* und *Obandschi* wenigstens für grössere Flussteile im Gebrauche stehen. Der von *Stanley* entdeckte *Aruwimi* heisst weiter aufwärts *Ituri*, und in der Nähe seiner Quelle ist er als *Népoko* bekannt.

Das Strombett ist wohl vom *Rinnsale* zu unterscheiden, welches letztere das fliessende Wasser in einem gegebenen Zeitpunkte in anspruch nimmt. Zumal bei Gebirgsflüssen ist das Rinnsal sehr schmal gegenüber dem Flächenstreifen, welchen das Wasser in Ausnahmezuständen, vorab bei Ueberschwemmungen, erfüllt [1]). Man unterscheidet, ohne allerdings diese Einteilung mit einiger Strenge durchführen zu können, *Oberlauf, Mittellauf* und *Unterlauf* des Flusses; das Gefälle ist auf der erstgenannten Strecke das relativ grösste, nimmt dann im Mittellaufe ab und wird gegen die Mündungsstelle hin so schwach, dass das Wasser im trägsten Laufe sich durch die Niederungen windet (Donau, Rhein) [2]). *Stromschnellen* und *Kaskaden* finden sich zumeist im Oberlaufe, fehlen aber auch weiter unten nicht, wie das Beispiel der sich den Weg durch enge Felsthore erzwingenden Donau zwischen Bazias und Turnu-Severin (Engpass von Kazan, Eisernes Thor) beweisen kann. Häufiger bei Bächen, mitunter aber auch bei grösseren Flüssen (Zambesi, Kongo, Niagara-Fluss, Rhein, Lech) ändert sich das Gefälle nicht durchweg stetig, sondern es treten jähe Aenderungen ein, welche dann die Bildung eines *Wasserfalles* [3]) — vgl. in *Fig. 115* den bekannten Wasserfall von *Golling* bei Salzburg — zur Folge haben. Manche fliessende Gewässer bilden in ihrer ganzen Lauflänge nur einen einzigen zusammenhängenden Wasserfall; dies sind die *Wildbäche* im Hochgebirge, denen eine ausgesprochene hydrographische Individualität

[1]) Selten nur füllt ein Fluss auf grössere Entfernungen das selbst gegrabene Bett so vollständig aus, wie es der untere Kongo thut, zu dessen beiden Seiten nach *Pechuël-Lösche* nicht einmal ein Gangsteig an den Abhängen hin frei bleibt.

[2]) Nachstehend geben wir einige Zahlen für das wechselnde Gefälle des Donaustromes. Bei Ulm beträgt es $\frac{1}{600}$, zwischen Ulm und Donauwörth $\frac{1}{3400}$, zwischen Passau und Linz $\frac{1}{1600}$, zwischen Wien und der ungarischen Grenze $\frac{1}{2400}$ und weiter abwärts $\frac{1}{9000}$ bis $\frac{1}{15000}$. Das Gefälle zwischen einem oberen Punkte A und einem unteren B wird bekanntlich gefunden, indem man AB als Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreieckes betrachtet, dessen Kathete AC vertikal, dessen Kathete BC vertikal verläuft; dann ist $\sin (\sphericalangle ABC)$ eben das Gefälle.

[3]) Die grösste Absoluthöhe eines Falles wird bei dem des *Gavarnie* in den Pyrenäen konstatiert (390 m); ihm vergleichbar sind der „raketenschweifförmige" *Staubbachfall* im Berner Oberlande und der *Brautschleierfall* im kalifornischen Yosemitethale (fast 300 m). Die *drei Fälle der Krimler Ache* (Tauern) sind zusammen weit höher, aber der Absturz ist eben kein ganz unvermittelter. Der Gollinger Fall, den unser Bild vorführt, hat in *Fugger* seinen Monographen gefunden. Er hat eine Höhe von 62 m; sein Wasser ist ein verhältnismässig kühles, denn seine Quelle — und von dieser aus beginnt unvermittelt das Fallen — ist um 1° niedriger als die (berechnete) Bodentemperatur. Schon dieser Umstand macht es wahrscheinlich, dass das Wasser wesentlich von geschmolzenem Schnee stammt, und dass die auch auf andere Schwierigkeiten stossende volkstümliche Auffassung unrichtig ist. Danach soll nämlich das Wasser des Königs-Sees im „Kuchler-Loch" einen Abfluss finden und, durch das zerklüftete Gestein des hohen Gölls hindurch, als der einer Doue (S. 342) ähnliche Schwarzbach wieder austreten.

zukommt. Schon vor mehr denn hundert Jahren hat *Zallinger zum Thurn* den Anfang mit der wissenschaftlichen Erforschung dieser „*torrentia*“ gemacht, und in unseren Tagen hat sich *P. Lehmann* eingehend mit ihren Eigentümlichkeiten befasst. Man hat bei ihnen das *Sammelgebiet*, den *Sammelkanal* und den ihren Unterlauf kenn-

Fig. 115.



zeichnenden *Schuttkegel* zu beachten; anlässlich der Ueberschwemmungen werden wir auf sie zurückzukommen haben.

Unter *Stromgebiet* oder *Bassin* verstehen wir einen natürlichen Hohlraum, in dessen Achse der Hauptstrom sich fortbewegt, während alles von irgend einem Punkte der umschliessenden Konkavität ausgehende Wasser die Vereinigung mit dieser Hauptader suchen muss. Die von *Boussinesq* durchgeführte analytische Untersuchung hat festgestellt, dass die von diesem herabrinnenden Wasser ein-

geschlagenen Wege *asymptotisch* gegen den achsialen Strom verlaufen müssen; da die Fläche, auf der sich die Bewegungen vollziehen, keine geometrisch regelmässige ist, so wird in Wirklichkeit bloss das erreicht, *dass,* wie *Peschel* bereits durch Kartenstudium erkannt hatte, *die Vereinigungspunkte sich sehr weit hinausschieben, die Nebenflüsse also unter sehr spitzem Winkel in den Hauptfluss münden.* An geographischen Belegen für diese Wahrheit ist kein Mangel [1]). Abgegrenzt wird ein Stromgebiet im allgemeinen durch *Wasserscheiden*; diese richtig zu bestimmen, ist jedoch nicht Aufgabe der Hydrographie, sondern der morphologischen Geologie, und es kann deshalb der Wasserscheidenfrage erst später näher getreten werden. Vorläufig sei nur festgestellt, dass hie und da, jedoch selten, ein *gegenseitiges Uebergreifen zweier Stromgebiete in einander, mit völliger Verwischung der Scheidelinien* stattfindet; man spricht dann von *Bifurkation der Ströme* [2]). Die grossartigste und bekannteste, durch *Humboldt* den nur schwer daran glaubenden Geographen mundgerecht gemachte Bifurkation auf der Erde besteht in Südamerika, wo der Orinoko mit dem zum Systeme des Amazonas gehörigen Rio Negro durch den Stromkanal des *Cassiquiare* verbunden wird. In Deutschland begegnet man einem Miniaturbilde dieser Stromverbindung nördlich vom Teutoburger-Walde, wo aber vielleicht die Hand des Menschen in früherer Zeit mit eingegriffen hat. Auch die Sumpfbezirke in Westrussland und Ostpreussen weisen eine doppelte Entwässerung auf. Sehr charakteristisch, wiewohl wenig bekannt, ist endlich nach *v. Hahn* die echte Bifurkation auf dem „Amselfelde“ in Altserbien. Die Neredinka nämlich verzweigt sich in zwei Arme, deren einer in die Sitznitza, als in einen zum Systeme des Schwarzen Meeres gehörigen Fluss mündet, während der andere sein Wasser mit dem Lepenatz und durch diesen mit dem Wardar, resp. mit dem Archipelagus vermischt. — In besonderen Fällen kann eine temporäre Flussvermischung eintreten, nämlich dann, wenn Ueberschwemmungen die ohnehin niedrige Wasserscheide zum Verschwinden bringen. *Ratzel* bemerkt, dass in Nordamerika, im Gebiete des Mississippi und im Staate Maine, dergleichen durchaus nichts ungewöhnliches sei, und ebenso gehen Etsch und Po da, wo sie einander parallel die venetianische Tiefebene durchströmen, häufig unmerklich in einander über. — Endlich ist noch der *unterirdischen Flussverbindungen* zu gedenken, die den Gebirgen der Kreide- und Juraformation eigentümlich sind. Wir

[1]) Als eines der augenfälligsten Beispiele wollen wir das Posystem anführen; die meisten Nebenflüsse strömen dem Po fast rechtwinklig zu, aber im letzten Stücke ihres Laufes tritt eine entschiedene Ausbiegung gegen Osten ein. Tanaro und Po strömen, wie *Nissen* hervorhebt, längere Zeit so nahe an einander hin, dass bei anhaltendem Regen ihre Gewässer sich beträchtlich vor dem wahren Konvergenzpunkte vereinigen.

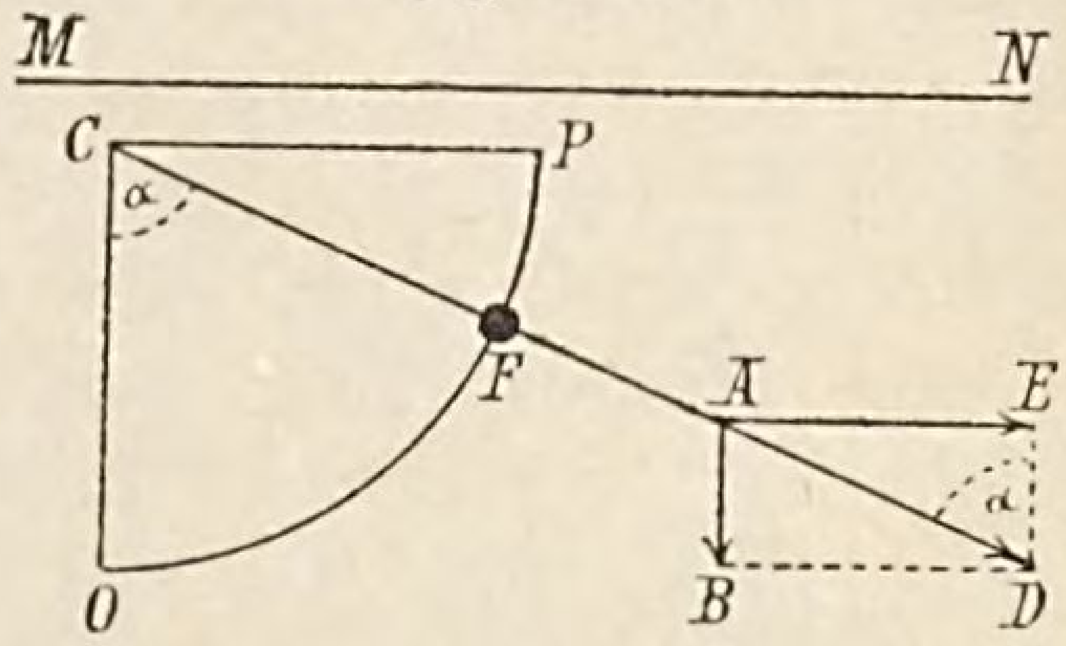
[2]) Gut gewählt ist dieser Ausdruck nicht; eine Verschärfung der Ausdrucksweise ist auch von *Supan* für notwendig erachtet worden. Man sollte unterscheiden zwischen einfacher *Flussvermischung* und *Gabelung im engeren Sinne*, bei welch letzterer ein Fluss-Individuum sich in zwei verschiedenen Stromgebieten zuzuteilende Wasserläufe spaltet.

wollen hier nur an den merkwürdigsten Fall dieser Art erinnern. Indem *Knop* in eine der Donauquellen Anilinfarbstoffe brachte, sah er seine schon früher gehegte Vermutung bewahrheitet, dass aus dem nämlichen Reservoir, aus welchem jene Quelle ihre Nahrung bezieht, auch die in den Rhein abfliessende Aach gespeist wird: beide, nach entgegengesetzten Richtungen ziehende Flüsschen erwiesen sich einige Zeit nach dem Versuche als *gleichartig gefärbt*.

Die Stromentwicklung ist wesentlich bedingt durch das Verhältnis, in welchem die vorkommenden *Krümmungen* zur *Gesamtlauflänge* stehen. Die Entstehung der ersteren bildet ein Problem der Morphologie; die Ermittlung der Lauflänge, welche man dann mit dem *Luftlinienabstande zwischen Quelle und Mündung* vergleicht, gehört zu den schwierigeren Aufgaben der Geographie. Eine von *Tillo* vorgenommene Revision der betreffenden Zahlen hat ziemliche Abweichungen gegen eine Reihe als feststehend betrachteter Werte ergeben.

Wenn wir von der Geschwindigkeit sprechen, mit welcher das Wasser in Bächen und Flüssen sich fortbewegt, so müssen wir zunächst die zum *Messen der Geschwindigkeit* dienlichen Hilfsmittel kennen lernen. Für eine oberflächliche Bestimmung reicht die *Schwimmkugel* aus, die man von einem Orte A nach einem zweiten Orte B treiben lässt; wird dazu ein Zeitverbrauch t konstatiert, so ist $AB:t$ die als konstant vorausgesetzte Geschwindigkeit der Strömung. Grosse Genauigkeit lässt sich mit dieser Methode, die auch für Messungen in grösserer Tiefe versagt, begreiflicherweise nicht erreichen. Weit besser entspricht den Zwecken des Geographen und Hydrotechnikers der *Stromquadrant* (*Fig. 116*). MN ist der Stromspiegel; wir wollen erfahren, wie gross die Geschwindigkeit in einem internen Punkte O ist. Zu dem Ende bringen wir einen gewöhnlichen Quadranten COP so in das Wasser, dass seine Ebene zu der Richtung der Wasserfäden parallel steht, und dass der Punkt, bis zu welchem im Ruhezustande ein bei C angebrachtes Bleisenkel herabreichen würde, gerade mit O zusammenfällt. Die Strömung stösst die Bleikugel fort, so dass sich das Bleilot in der mit der Vertikalen den $\sphericalangle\, OCF = \alpha$ bildenden Richtung CF einstellt. $AB = p$ sei die Schwere der Pendelkugel, $AE = s$ die Energie des Wasserstosses; konstruiert man das Rechteck $AEDB$, so muss $\sphericalangle\, ADE = \alpha$ werden, und es ist tang $\alpha = s:p$. Nun weiss man aber, dass, unter K eine Konstante, unter v die gesuchte Strömungsgeschwindigkeit verstanden, $s = Kv^2$ ist, somit wird

Fig. 116.



$$v = \sqrt{\frac{p \operatorname{tang} \alpha}{K}}.$$

K wird aber dadurch gefunden, dass man den Winkel α_1 für eine schon anderweit bekannte Strömungsgeschwindigkeit v_1 ermittelt; es folgt so der Satz: *Zwei Geschwindigkeiten verhalten sich unter sonst gleichen Umständen wie die Quadratwurzeln aus den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel.* Die hydrometrischen Messungen der Neuzeit erfolgen zumeist mit dem *Woltmannschen* oder mit dem eine Vervollkommnung desselben darstellenden *Amsler-Laffonschen Flügel.* Eine horizontale Achse ist der Stromrichtung parallel gestellt, und zu ihr steht senkrecht, und auch senkrecht zu der Horizontalebene, ein Stab, an dessen beiden Enden, symmetrisch zur Achse, zwei trapezförmige Platten befestigt sind; die Ebenen dieser Platten, unter sich parallel, haben gegen die graden Linien, in welchen die Wasserteilchen sich bewegen, gegen die sogenannten *Wasserfäden*, Neigungen von ungefähr 45°. Das Wasser will diese Platten wegstossen und versetzt sie in die einzige unter den erwähnten Verhältnissen mögliche Bewegung; sie beginnen um die Horizontalachse zu rotieren und nehmen sehr bald diejenige Geschwindigkeit an, welche dem Wasser selbst eigen ist. Ein Zählwerk gibt die Anzahl der Flügelumdrehungen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes an, und daraus kann dann leicht die Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden. Wenn aber die Ablesung gemacht werden soll, muss man den Flügel vorher ausheben; dies vermeidet das von *Amsler-Laffon* konstruierte Instrument, welches die Zeit, innerhalb deren hundert Umdrehungen der Flügel gemacht werden, zu messen erlaubt[1]). Wieder anders ist die *Pitotsche Röhre* beschaffen, welche von *Frank* speziell zu dem Zwecke von Oberflächenmessungen aptiert worden ist; in der einfachsten Gestalt wird das kurze Kniestück einer offenen, rechtwinklig umgebogenen Röhre dem Wasser so entgegengehalten, dass dieses mit ganzer Kraft einzuströmen vermag, und da ihm sehr bald das vertikale Kniestück das Vorwärtsdringen verwehrt, so steigt es in diesem empor, bis es eine Höhe h über dem Horizonte des unteren Röhrenteiles erreicht hat; die Geschwindigkeit ist dann, unter g die bekannte Beschleunigung der Schwerkraft (S. 23) verstanden, gleich $\sqrt{2gh}$. *Frank* hat gezeigt, dass das *Pitot*sche Prinzip auch ausreicht zur Ermittlung der *mittleren Stromgeschwindigkeit einer ganzen Stromvertikalen.* Man verwendet eine geschlitzte Röhre, deren Schlitzöffnung in den Weg der Wasserteilchen gestellt wird; an diese erste Röhre ist oben eine zweite, mit Luft gefüllte angeschraubt, so dass das eindringende Wasser diese Luft trifft und es komprimiert. Ein oben befindlicher Verdichtungsmesser (*Manometer*) gibt den Betrag der Kompression und zugleich auch den des entsprechenden hydraulischen Gesamtdruckes an.

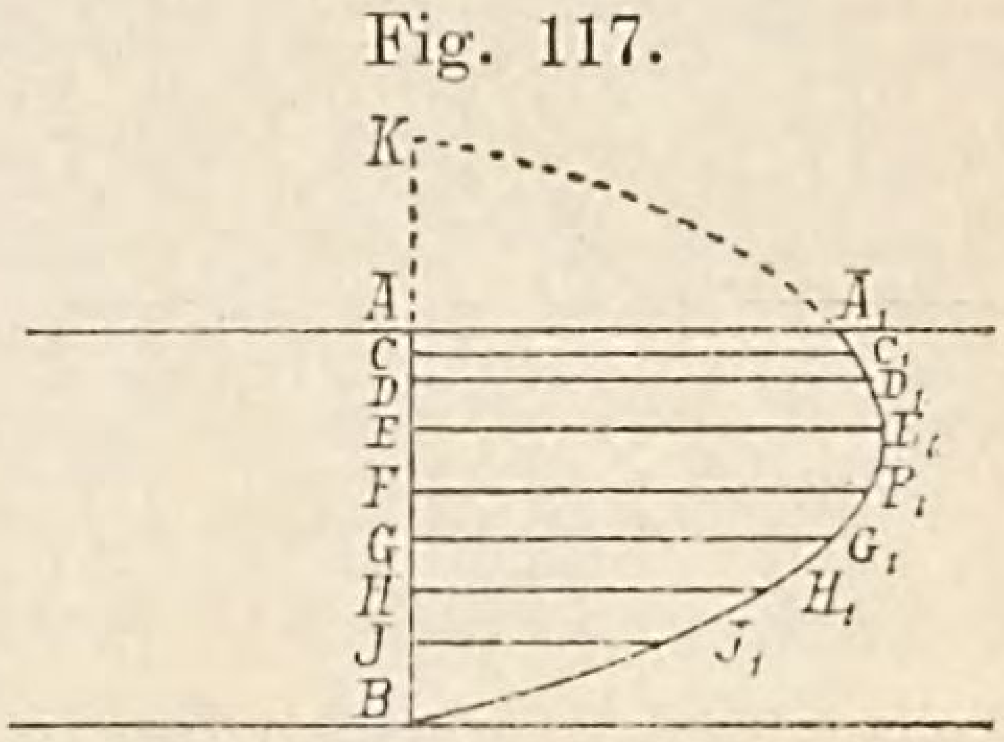
[1]) *Hess* hat den hydrometrischen Flügel mit einem akustischen Zählwerke verbunden, während von anderen Mechanikern eine elektrische, auch telephonische Uebertragung der Umdrehungen ins Werk gesetzt ward. Die Schraube der *Woltmann*schen Flügelwelle trägt ein Schneckenrad mit 15 Zähnen, und je nach fünf Umdrehungen wird ein in geeigneter Weise gefasster Bolzen so gegen die Wand des Rohres angedrückt, dass ein hörbarer Schlag entsteht.

Kennt man die Geschwindigkeit v und das Profil P des Stromes, unter welch letzterem man den Flächeninhalt eines senkrecht zu den Wasserfäden gelegten Querschnittes versteht, so kann man auch das Gefälle α berechnen, so bald noch der benetzte Umfang u des Querprofiles als bekannte Grösse hinzutritt. Es gilt nämlich die von dem berühmten Wasserbaumeister *Eytelwein* aufgestellte Formel:

$$\alpha g u = \text{Konst. } P v^2.$$

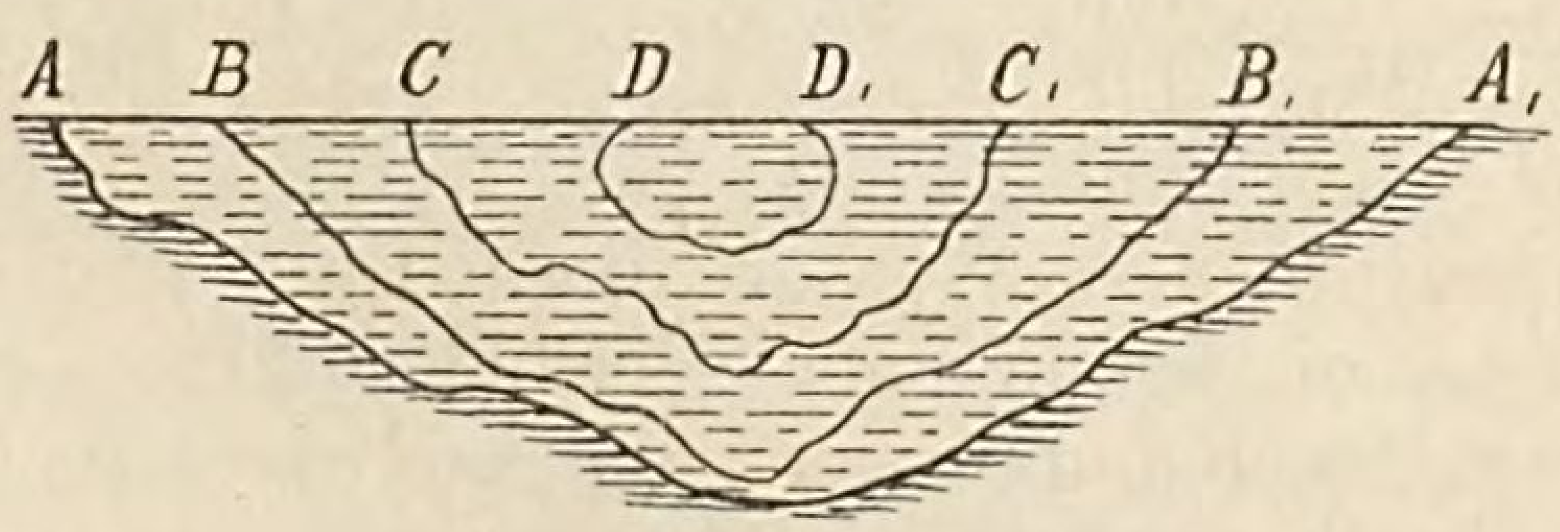
Will man sich über die Verteilung der Geschwindigkeiten im Inneren ein Urteil bilden, so greift man am zweckdienlichsten auf die *parabolische Theorie* der berühmten italienischen Hydrotechniker des vorigen Jahrhunderts — *Guglielmini, Lecchi, Michelotti* — zurück. In *Fig. 117* sehen wir einen Längendurchschnitt eines Flusses vor uns; jede horizontale grade Linie stimmt demnach mit einem Wasserfaden überein. Wir ziehen eine Stromvertikale AB, wählen auf dieser beliebige Punkte C, D, E, F, G, H, J, ziehen durch jeden derselben den entsprechenden Wasserfaden und tragen auf jedem der letzteren eine der dem fraglichen Punkte zukommenden Geschwindigkeit proportionale Strecke ab. Die Endpunkte derselben, die Punkte $A_1, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, H_1, J_1$ erfüllen in ihrer Gesamtheit eine Kurve, die man als *Geschwindigkeitshodographen* (S. 166) bezeichnen kann; dieselbe ist eine *Parabel*, deren Achse selbst ein Stromfaden sein muss; doch liegt diese Achse, in welche man den *Stromstrich* [1]) verlegt, nicht etwa gleichweit vom Spiegel und Grunde des Flusses entfernt, sondern um ein gutes Stück näher dem ersteren, in unserer Figur nahe bei EE_1. Will man also die zur Achse symmetrische Gestalt des Hodographen deutlich erkennen, so muss man, wie dies auch in unserer Zeichnung geschah, $EK = EB$ machen und das Kurvenstück $A_1 K$ ergänzen.

Fig. 117.



Die Ortskurven gleicher Geschwindigkeit in einem Querschnitte des Flusses hat *Harlacher* konstruiert und als *Isotachen* bezeichnet

Fig. 118.



(τάχος, Geschwindigkeit). *Fig. 118* gewährt uns ein Bild dieser Linien, deren Regelmässigkeit im allgemeinen eine geringe ist, die

[1]) Will man aus dem Stromstriche eines einzelnen Profiles den wirklichen Stromstrich, auch *Thalweg* genannt, des Flusses kennen lernen, so muss man ein Profil wählen, welches ungefähr gleichweit von beiden Ufern entfernt

aber, wenn die Profilfigur eine Medianvertikale besitzt, gegen diese sich symmetrisch anordnen. Man würde die Mediane in der Figur dadurch erhalten, dass man die tiefsten Punkte der Linien AA_1 (Profilumriss), BB_1, CC_1, DD_1 mit einander verbände.

Wir gelangen zu dem vierten der weiter oben als der Beachtung besonders würdig namhaft gemachten Punkte, zur Menge des in einem Flusse dahinströmenden Wassers. *Wasserführung* nennt die Hydrometrie die Flüssigkeitsmenge, welche in der Zeiteinheit einen gegebenen Querschnitt passiert. Man multipliziert die mittlere Geschwindigkeit, welche man nach der *Eytelwein*schen Formel berechnen, aus vielen Einzelbestimmungen komponieren oder auch mittelst der *Frank*schen Röhre (s. o.) unmittelbar finden kann, mit der Grösse des Schnittes; das Produkt liefert den Betrag der Wasserführung.

Die Wassermenge ist natürlich keine konstante, sie wird durch die wechselnden Niederschlags- und Verdunstungsverhältnisse bestimmt und ist an jedem Tage, in jeder Stunde eine andere [1]). Eine von *Forel* gegebene Tabelle lässt uns mit einem Blicke die Veränderlichkeit der Monatsmittel dieses Elementes überschauen; es handelt sich um den Rhone da, wo er den Genfer-See verlässt, und als Zeiteinheit diente die Sekunde. *w* bedeutet die mittlere Wasserführung in Kubikmeter, *m* den Monat.

m	*w*	*m*	*w*	*m*	*w*	*m*	*w*
Januar . . .	183	April . . .	200	Juli	460	Oktober . .	323
Februar. . .	180	Mai	250	August . .	473	November .	260
März	170	Juni	370	September	410	Dezember .	227

Freilich nun ist die Wasserführung nicht völlig das, was der Name eigentlich anzeigen will; *vielmehr befindet sich im Wasser stets eine Menge von Festkörpern oder Sinkstoffen,* welche die Erosionsthätigkeit des Flusses von den Ufern losgelöst hat, und welche er später, je nachdem sein Gefälle schwächer und schwächer wird, zu Boden fallen lässt (s. u. in Abschnitt XVII anlässlich der Alluvien- und Deltabildung). An dieser Stelle interessiert uns nur die Frage, welcher Art vorwiegend die mitgeführten Stoffe sind, und wie sich quantitativ ihr Verhältnis zum wirklichen Wasser gestaltet. Man darf annehmen, dass die abgespülten Fragmente stets kleiner und

ist. Man findet den Oberflächenstrich oder die Linie grösster Oberflächengeschwindigkeit auch dadurch, dass man alle Punkte der Querschnitte verbindet, für welche die in *Fig. 118* dargestellten Isotachen sich zu einem einzigen Punkte zusammengezogen haben.

[1]) Für die grösseren Flüsse Schwedens hat *Appelberg* genaue Bestimmungen der Wasserführung durchgeführt. Er findet die grössten Schwankungen, glaubt aber ermittelt zu haben, dass das innerhalb der einzelnen Stromgebiete befindliche Areal der Seen, Wiesen und Wälder sehr bedeutend auf die Ausgleichung des Verhältnisses zwischen der geringsten und der grössten abfliessenden Wassermenge einwirkt.

kleiner werden, je weiter sie der Strom mitnimmt[1]); dies wird auch durch die von der hygieinischen Schule *v. Pettenkofers* thatsächlich festgestellte *Selbstreinigung der Flüsse* bekräftigt, welche bewirkt, dass Unrat, der auf dem Wege der Kanalisation in ein einigermassen lebhaft fliessendes Gewässer gelangt, schon einige Stunden unterhalb des Einflussortes sich als solcher vollständig verloren hat und das Gebrauchswasser der tiefer gelegenen Plätze nicht mehr schädigt. Zwei englische Geologen, *Guppy* und *Mellard-Reade*, haben für eine Anzahl wichtiger Ströme sowohl die Wasserführung für die Sekunde in Kubikmeter, welche wir wieder *w* nennen wollen, als auch im gleichen Masse die Quantität im Jahre fortgeführter Festkörper, hier mit *f* bezeichnet, ausgemittelt und in eine Tabelle gebracht, welche zwar nicht absolut genau sein kann, aber doch recht bedeutsame Aufschlüsse erteilt. Sie folgt nachstehend:

Fluss	*m*	*f*	Fluss	*m*	*f*
Amazonas . . .	69580	—	Indus	5649	—
Kongo	50970	—	Nil	3680	—
Jangtsekiang . .	21810	182000000	Hoangho . . .	3285	47250000
Laplata	19820	44000000	Rhein	1974	—
Mississippi . . .	17500	211500000	Po	1735	11480000
Donau (Mündung)	8502	35540000	Pei-ho (China) .	220	2266000
Schatt-el-Arab . .	8366	—	Themse (b. Kingston)	65	528300
Ganges	5762	180300000			

Guppy rechnet aus, dass die drei erwähnten chinesischen Ströme in wenig über hunderttausend Jahren das im Mittel nur 48 m tiefe Gelbe Meer auszufüllen vermögend wären.

Von *Spring* und *Frost* besitzen wir sehr verlässige Angaben über die chemische Zusammensetzung der Materialien, welche die *Maas* bei Lüttich vorüberführt. Auch deren Kenntnis wird am besten durch eine tabellarische Zusammenstellung vermittelt. Nach Kilogrammen ausgeschieden, verteilen sich die Suspensionsstoffe der Maas folgendermassen in chemischer Beziehung:

Silikate	189450461	Sand	70291226
Gips	200574450	Mangansuperoxyd . .	672611
Chlornatrium	58074646	Kaliumnitrat. . . . { Lithionverbindungen . }	46209950
Chlormagnesium . . .	108745923		
Magnesiumkarbonat .	10137636	Organische Sinkstoffe[2])	21844739
Kalkkarbonat	614074482		

[1]) Indem *Daubrée*, damals noch zu Strassburg i. E. lebend, ein Fernrohr in das Wasser des Rheines selbst brachte, konnte er sich mit eigenen Augen überzeugen, wie teils dadurch, dass die schwereren Körper zu Boden sanken, teils durch gegenseitige Zerreibung das Gerölle immer mehr seine Beschaffenheit änderte und zum feineren Schlamme wurde.

[2]) In seinem inhaltreichen Werke „*Les eaux du tunnel du St.-Gothard*" (Weissensee 1891. S. 139) erwähnt *Stapff* der höchst sonderbaren Thatsache,

Vergegenwärtigt man sich die sehr beträchtliche Menge Chlornatrium, so kann man kaum daran zweifeln, *dass ein nicht geringer Teil des dem Meerwasser durch Verdunstung entzogenen Salzgehaltes durch die einströmenden Flüsse kompensiert wird.*

Es bleiben nur noch einige Momente von im allgemeinen zwar hoher, geographisch aber geringerer Bedeutung zur Besprechung übrig. Die Bewegung des Wassers kann nur durch Experiment und höhere Rechnung erforscht werden. Solange die Fortpflanzungslinien der einzelnen Wasserteilchen als parallele Fäden betrachtet werden dürfen, sind die Verhältnisse leichter zu überblicken; komplizierter werden sie erst dann, wenn es zu *Wirbelbewegungen* kommt. Eine solche darf nicht als eine einfache Rotationsbewegung angesehen werden, denn Wirbel sind stets eine Unterbrechung der sonst stetigen Bewegung, und es gibt, wie eine verhältnismässig einfache Analyse darthut [1]), einzelne *Wirbellinien*, für welche sich theoretisch eine Rotation von unendlicher, praktisch also sehr grosser Geschwindigkeit bestimmt. An den äusseren Rändern einer Strömung bilden sich stets Wirbel, über welche ein Deutschamerikaner, *Brucker* in Medford (Wisconsin), sehr hübsche experimentelle Studien an der ihm selbst gehörigen Mühle angestellt hat; die sehr rasche Eigenbewegung derselben, welche die Theorie (s. o.) fordert, wurde von ihm mittelst in die Wirkungssphäre der Wirbel gebrachter und rasch mit fortgerissener Schwimmkörperchen konstatiert. Auch die von *Krümmel* in der Wellenrinne als Analogien der verschiedenen Meeresbewegungen erzeugten Stromfiguren waren auf die angedeutete Weise im freien Gewässer erkennbar zu machen [2]).

Genaue Beobachtungen über die *Temperatur der Flüsse* sowie über die *Eisbildung auf denselben* sind noch eine Seltenheit, obgleich durch die Arbeiten von *Hertzer, Hildenbrand, Geistbeck, Swarowsky* u. a. guter Anfang dazu gemacht ist. *Assmann* weist darauf hin, dass den Messungen der Temperatur und Dicke des Eises, wenn zugleich die Lufttemperatur gehörig berücksichtigt wird, auch ein nicht zu unterschätzendes klimatologisches Interesse zukommt. Sogar die eigentümlich konzentrische Struktur des Flusseises scheint noch

dass selbst in den tief im Felsmassiv des erwähnten Urgebirgsstockes kursierenden Gewässern organische Stoffe und selbst wirkliche Bakterien sich vorgefunden haben.

[1]) Man vergleiche die Darstellung *Rausenbergers* in Heft 3 des Jahrganges 1889 der „Berichte des Freien Deutschen Hochstiftes zu Frankfurt a. M.“

[2]) Wenn der Boden des strömenden Gewässers mit feinem Sande bedeckt ist, so ziehen die durch das ganze Innere der Wassermasse hindurch sich fortsetzenden Bewegungen jenen in Mitleidenschaft, und es bilden sich jene sogenannten *Sandrippungen* (s. S. 295), die namentlich die englischen Geophysiker angelegentlich zu studieren bemüht sind. Durch die in der libysch-arabischen Wüste angestellten Beobachtungen *J. Walthers* scheint festgestellt zu sein, dass das Wasser kein unentbehrliches Substrat für die Entstehung dieser Unebenheiten ist, was wohl auch auf die oben zitierte Wahrnehmung von *Rae* einiges Licht fallen lassen dürfte.

nicht viele Aufmerksamkeit auf sich gezogen zu haben[1]), und nur das *Grundeis*[2]) beschäftigte die Forscher lebhafter.

Ueberschwemmungen. Die Wasserstände der Flüsse sind starken Schwankungen unterworfen, welche wesentlich von den Niederschlagsmengen obwalten. Die Versuche von *Fritz, Reis* u. a., *einen inneren Zusammenhang zwischen starken Erhebungen der Flüsse über ihren Normalpegelstand und der elfjährigen Sonnenfleckenperiode zu ermitteln,* haben verschiedene Beurteilung gefunden, aber ebenso wenig, wie die Ansicht von einer *zunehmenden Wasserverminderung auf Erden* als Thatsache anerkannt werden kann[3]), darf zur Zeit eine kosmische Ursache ungewöhnlicher Wasserfülle als gesichert gelten. Eine *Ueberschwemmung* wird weder durch hydrotechnische Eingriffe in den Uferbau noch auch direkt durch Entwaldung, sondern einzig und allein dadurch hervorgerufen, dass mehr meteorisches Wasser zur Erde fällt, als die vorhandenen Hohlräume in sich aufnehmen können. Ist der Boden im Niederschlagsgebiete gefroren, das Einsickern des Regenwassers somit unmöglich gemacht, so wird die Ueberschwemmung unerwartet grosse Dimensionen annehmen.

Europas Flüsse besitzen meist ein tiefes Gerinne, so dass auch Wolkenbrüche, die zudem bei uns nicht leicht lange andauern, meist nur ein vorübergehendes Austreten der Flüsse zur Folge haben. Anders in Asien und Amerika. Am bekanntesten und gefürchtetsten in dieser Hinsicht ist der *Hoangho*, dessen Hochfluten *E. Naumann* zum Gegenstande einer besonderen Untersuchung gemacht hat. Wir erfahren, dass dieser gelbe Riesenstrom in seinem Unterlaufe nur noch wenig erodiert, dafür aber fortwährend gewaltige Schlammmassen absetzt und so eine Erhöhung seines Bettes zuwege

[1]) Wer das massenhafte Treibeis des Rheines im Dezember 1890 beobachtete, dem musste es auffallen, dass auf jeder einzelnen Scholle ohne Ausnahme die peripherischen Teile eine andere Farbe und Zusammensetzung aufwiesen, als die mehr zentralen (s. S. 371).

[2]) Mit diesem oder dem verwandten Worte *Bodeneis* bezeichnete man jenes Eis, von dem man annahm, es habe sich an der Sohle der Gewässer gebildet. *Lichtenberg, Zschokke, Desmarest, Scoppewer, C. W. Weber* u. a. haben die Möglichkeit einer solchen Entstehung erörtert, und zumal auf die Arbeiten der beiden letztgenannten hin hat man sich dahin entschieden, dass das Grundeis auf dem Wasser koaguliere und *den Uebergang vom Treibschnee zum eigentlichen Treibeise darstelle.* Dem gegenüber meinte jedoch neuerdings *Assmann*, es sei nicht ausgeschlossen, dass bei strenger Winterkälte der Boden an den Ufern eines Gewässers sich sehr stark abkühlen könne; dann wäre das Grundeis nichts anderes, als eine Art von *Glatteis*, welches bei Berührung von Wasser mit überkältetem Festboden entsteht. Es ist uns nicht bekannt, ob Versuche im Sinne der von *Assmann* gemachten Vorschläge angestellt worden sind und eine Bestätigung oder Widerlegung der vorgetragenen Ansicht gebracht haben.

[3]) Oben schon (S. 262) ward dieser Hypothese gedacht, und es ward zugleich aus generellen Gründen gegen dieselbe Stellung genommen. Speziell für die Stromkunde jedoch ist es von hoher Wichtigkeit, dass *Hagen* die von *Wex* aufgestellte Behauptung, bei den deutschen Flüssen lasse sich eine zunehmende Verminderung des Wasservorrates erkennen, eingehend geprüft und als unhaltbar erwiesen hat. Bei sämtlichen grösseren Flüssen ist seit 34, beim Rhein sogar seit 80 Jahren kein chronisches Sinken der Wasserstände zu verzeichnen.

bringt, welche ihn dann, wenn in seinem Quellgebiete viel Regen fällt, zum Verlassen des alten und zum Aufsuchen eines neuen Bettes nötigt. Im Jahre 1887 trat wieder eine solche, von den verderblichsten Ueberschwemmungen begleitete Laufverlegung ein, indem der Hoangho eine neue Strasse sich erzwang, deren gradlinige Erstreckung der Luftlinie Wien-Hamburg entspricht[1])! In ähnlicher Weise hat *Dana* die Gründe der grossen Ueberschwemmungen des *Ohio* 1883 und 1884 zu erforschen sich bemüht. Am 14. Februar letztgenannten Jahres erreichte der Fluss seine grösste bis jetzt verzeichnete Höhe. Sehr grosse Steilheit des Gefälles im Hauptstrome und in den Nebenflüssen, aussergewöhnliche Regengüsse, plötzliches Schmelzen des Schnees, während doch zugleich der Erdboden noch nicht bis zum Aufthauen erwärmt war, wirkten als begünstigende Momente in diesem Falle zusammen.

Die *Hochwasserprognose* ist heutzutage keine Utopie mehr. *Lueger* hat Gleichungen aufgestellt, welche die Entwicklung einer Hochflut und das Fortschreiten der Flutwelle zu kontrollieren erlauben und es möglich machen, dass an flussabwärts gelegenen Stationen, wenn vom Oberlande her gewisse Zahlenwerte telegraphisch übermittelt werden, das ungefähre *Eintreffen des Hochwassers* berechnet werden kann. Zumal in Frankreich haben *Laval, Belgrand, Comoy* u. a. diese Fragen selbständig gefördert, so dass, wie *Sonne* näher ausführt, *zur Einrichtung eines geordneten Nachrichten- und Warnungsdienstes die erforderlichen Vorbedingungen gegeben erscheinen.* Unter der Leitung *Honsells* hat das freilich auch dazu in erster Linie berufene Grossherzogtum Baden die Führerrolle unter den deutschen Staaten übernommen, um ähnlich, wie es beim küstenmeteorologischen (Sturmwarnungs-) Dienste der Fall ist, die Benachrichtigung der von Hochfluten betroffenen Rheinorte amtlich zu organisieren.

Aber auch zum *direkten Schutze gegen Ueberschwemmungen* kann staatliche Hilfe viel thun. Man kann *Reservoirs* und *Thalsperren* zur Aufspeicherung der Wasser- und Zurückhaltung der Geschiebemassen anlegen, wobei nur darauf zu sehen ist, dass letztere aus sehr festem Mauerwerke bestehen, denn schon dreimal seit Menschengedenken ist durch Bersten einer Sperrmauer — zu Sheffield, in Algerien und unlängst erst in Nordamerika — furchtbares Unglück angerichtet worden. Dagegen hat sich das berühmte *Becken von Verviers* (Belgien) mit über 12 Millionen Kubikmeter bis jetzt ganz vortrefflich bewährt. Im Flachlande dienen *Sickergräben,* wie sie das Forstpersonal in der Rheinpfalz vielfach herstellte, *Schutzdämme* und besonders die von *Classen* empfohlenen *Sammelweiher* dem gleichen vorbeugenden Zwecke. Die Wildbäche der Alpen

[1]) Ein freilich nur minimales Seitenstück zur Laufänderung des Hoangho bildet der bekannte *Weichseldurchbruch* vom 1. Februar 1840. Die Weichsel mündete früher um ein gutes Stück westlich von ihrer gegenwärtigen Ausflussstelle nahe beim Flecken Neufahrwasser, aber am gedachten Tage gab die längst angenagte Sanddüne dem Angriffe des stark mit Eis gehenden Stromes nach, und seitdem ist das Bett der untersten Weichsel ein anderes geworden.

werden durch *Faschinenzäune* ungefährlich gemacht, indem das Flechtwerk sich mit dem feinen, durch die Gewässer fortgeführten Detritus ansaugt, sich, wie man sagt, allmählich *verschlickt* und so zu einer festen Schutzwehr gegen die Gefahr der *Vermuhrung* (s. u. in Abschnitt XVII) sich gestaltet.

XV. Schnee und Gletschereis.

Die Schneegrenze. Schon in früher Zeit musste sich einem aufmerksamen Beobachter die Wahrnehmung aufdrängen, dass manche höhere Berge das ganze Jahr hindurch einen Schneemantel tragen, während niedrigere wenigstens in der warmen Jahreszeit diese Decke ganz verlieren. Im geographischen Gesichtskreise der Alten lagen nur wenige mit *ewigem Schnee* bedeckte Gebirge, und so haben auch nur wenige Forscher, an ihrer Spitze *Strabon* und *Seneca*, diesem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit zugewendet. Mit ihren von Scharfsinn und richtigem Verständnis zeugenden Aussprüchen darüber beginnt eine vielfach interessante Entwicklungsreihe, mit deren einzelnen Stadien uns *Klengel* näher bekannt gemacht hat. Den Begriff der *Schneegrenze* oder *Schneelinie* hat *Bouguer*, anlässlich der nach Peru unternommenen Gradmessungsexpedition (S. 25), in die Wissenschaft eingeführt. In Südamerika haben die Schneeverhältnisse einen weit stabileren Charakter, als anderwärts, und zur Gewinnung des Eindruckes einer wirklichen Gesetzmässigkeit eigneten sich die Cordilleren weit mehr, als die Alpen. Für *Bouguer* war die orographische Schneegrenze gleichbedeutend mit der Frostgrenze in der Atmosphäre, also ein Schnitt der Lithosphäre mit der Isothermfläche Null. Gründlicher nahm das von ihm nur gestreifte Problem *Saussure* in angriff, der von *B. Studer* mit Recht „der Begründer der Physik des alpinen Hochgebirges" genannt wird; er führte eine Bestimmung der Höhe der Schneegrenze an den verschiedensten Hängen durch und erörterte die Bedingungen, welche ein dauerndes Liegenbleiben des Schnees zur folge haben können, nach allen Seiten. Auf den parallelen Verlauf zwischen der Schneelinie und *gewissen Vegetationsgrenzen* wies *Wahlenberg*, ein gründlicher Kenner der skandinavischen Gebirge, hin. Sehr klar erfasste die Schwierigkeiten, welche einer präzisen Fassung der einschlägigen Begriffe entgegenstehen, *A. v. Humboldt*, der insbesondere auch klar erkannte, dass, wenn sich in besonders geschützter Lage auch einmal kleinere Schneeansammlungen Jahre hindurch erhalten, dadurch noch keine wirkliche Depression der Schneegrenze gegeben sei.

In neuerer Zeit haben vorwiegend deutsche Geographen, in erster Linie *Ratzel* und *E. Richter*, die mancherlei Unklarheiten und Zweideutigkeiten, welche noch der Definition der Schneelinie an-

hafteten, zu heben sich bemüht. *Ratzel* hob hervor, dass dann, wenn das solare Klima (S. 252) allenthalben auf der Erde das massgebende wäre, die Festlegung der fraglichen Scheidelinie eine einfache Aufgabe der Klimatologie sein würde, dass aber durch den Einfluss, welchen die Bodengestaltung auf das Klima ausübt, sowie durch die Unebenheiten der Gebirge überhaupt die mannigfachsten Störungen des normalen Verlaufes gegeben seien. Man hat demgemäss zwischen *klimatologischer* und *orographischer Schneegrenze* einen Unterschied zu machen. Erstere ist eine im allgemeinen nicht sehr verwickelte Linie, oberhalb deren der gefallene Schnee, der allerdings, wie wir bald sehen werden, eine ganz andere molekulare Beschaffenheit als der dem Flachländer geläufige Schnee besitzt, nicht mehr schmilzt; wir wissen von früher, dass die Luft so gut wie diatherman ist, und dass mithin nicht eine noch so lebhafte Besonnung, sondern die Allgemeintemperatur der Luft den das Schmelzen des Schnees bewirkenden Faktor darstellt. Diese aber ist in jenen Höhen so niedrig, dass kein die ganze Masse durchdringendes Aufthauen mehr stattfinden kann, und so bleibt auch ohne jedwede lokale Begünstigung jenseits der vom Klima abhängigen Kurve der Schnee liegen. Leicht einzusehen ist, warum diese Schneelinie, welche sich, aus der Ferne gesehen, hauptsächlich geltend macht, an der Südseite westöstlich gerichteter Gebirge meist höher als an deren Nordseite verläuft. Dass dies nicht allgemein gilt, dass hier vielmehr die Gegensätzlichkeit von Küsten- und Kontinentalklima mächtig mit eingreift, hatte *Humboldt* klar erkannt; er wusste, dass an der tibetanischen Seite des Himálaya der ewige Schnee erst in weit grösserer Höhe über dem Meere erreicht wird, als dies auf der indischen der Fall ist, und da er die extreme Trockenheit des zentralasiatischen Klimas ebenso wie die Zugänglichkeit Nordindiens für die Meereswinde wohl kannte, so sagte er sich, dass an der Südseite die Voraussetzungen für die Entstehung mächtiger Schneemassen ganz unverhältnismässig günstigere sein müssen. Auch in der Diluvialzeit (S. 270) haben, wie der klimatische Charakter jener erdgeschichtlichen Periode sofort verständlich macht, die Schneelinien in den Gebirgen sich zweifellos in weit grösserer Tiefe hingezogen, als gegenwärtig.

Unterhalb der klimatologischen Schneegrenze kann sich der Schnee in gewissen Regionen dauernd halten, wenn die Bodengestalt zuhilfe kommt. *Ratzel* charakterisiert besonders drei hier zu berücksichtigende Terrainformen: *beschattete Rinnen ohne strömendes Wasser, den Saum, welcher Schutthalden vom anstehenden Gesteine trennt, und Schluchten der Hochregion, zu welchen die Sonnenstrahlen keinen Zugang finden.* Man nennt solche rein örtliche Schneeanhäufungen *Firnflecke* oder *Firnfetzen*, und nach *Stapff* und *Richter* würde es sich empfehlen, die Zone zwischen klimatischer und orographischer Schneegrenze als *Firnfleckenregion* zu bezeichnen. Für die Abgrenzung derselben kann selbstverständlich nur eine genaue Untersuchung an Ort und Stelle sowie von Fall zu Fall die erforderlichen Gesichtspunkte an die Hand geben, wie ja selbst für

die Ziehung der von meteorologischen Einflüssen abhängigen Schneelinie mit aprioristischen Bestimmungen nicht viel zu machen ist[1]).

Der Schnee als geographisches Element. Man darf nämlich nicht vergessen, dass mit den wenigen Angaben, welche die Meteorologie gewöhnlich dem Schnee als einer anderen Aggregatform des Wassers zu widmen pflegt, diese Sache noch keineswegs für die physikalische Geographie erledigt ist. Man hat das wohl mehrfach bemerkt, aber erst durch eine zusammenfassende Arbeit *Ratzels*[2]) ist man mit der ungemein grossen Mannigfaltigkeit der hier sich berührenden Fragen recht bekannt geworden. Schon der Schneefall selbst bietet in grösserer Höhe über dem Meeresspiegel ein ganz anderes Bild dar, als es sich zumal dem Bewohner der Städte eingeprägt hat. Wie feiner Zuckerstaub fallen die Schneeflocken herab; es sind reine Eiskryställchen von anscheinend ganz derselben Art, wie sie die hoch schwebenden Zirruswölkchen (S. 216) bilden. *Ratzel* bezeichnet die Formen, welche diesen feinen, trockenen, zur Ballung ungeeigneten Schnee liefern, als *Stern-* und *Körnerschnee*. Im gemässigten Klima, wie es insbesondere in Deutschland herrscht, lassen sich in jeder Schneedecke drei Hauptbestandteile unterscheiden, welche den Jahreszeiten des Herbstes, Winters und Frühlings entsprechen; im Herbste geht die Bildung der Schneedecke nur langsam vor sich, während zu Beginn des Jahres, bis in den Sommer hinein, dieser Prozess sich beschleunigt. Von dem Zeitpunkte des ersten Schneefalles bis zu jenem, der als Anfangstermin für die Konstanz der Schneedecke angesehen werden kann, verstreicht in verschiedenen Gegenden auch eine sehr ungleiche Zeit; in Giessen z. B. dauert dieses Intervall in der Regel drei Wochen. Windrichtung und Windstärke bleiben nicht ohne Einfluss auf die Lagerungsverhältnisse, indem von ersterer die Orientierung, von letzterer die Mächtigkeit der *Schneewehen* bedingt wird, die *Ratzel* den Sanddünen (s. u. in Abschnitt XVII) als gleichartige Objekte an die Seite stellt[3]). In unserem Klima erhalten die Verwehungen stets den Charakter kleiner Anhöhen von auf der Luvseite sanfter, auf der Leeseite (S. 260) steiler Böschung, indem jede Unebenheit, jeder Baum, jeder Stein ein lokales Anhäufungszentrum darstellt, aber in ebenen Polarländern, vor allem in den Tundren fehlt es an solchen, und der Schnee erscheint dann als ein

[1]) Eben aus diesem Grunde haben wir auch auf eine Diskussion der von *Tob. Mayer, Erman, Hållström* u. a. für die Bestimmung der Höhe der Schneegrenze hergeleiteten Formeln verzichtet.

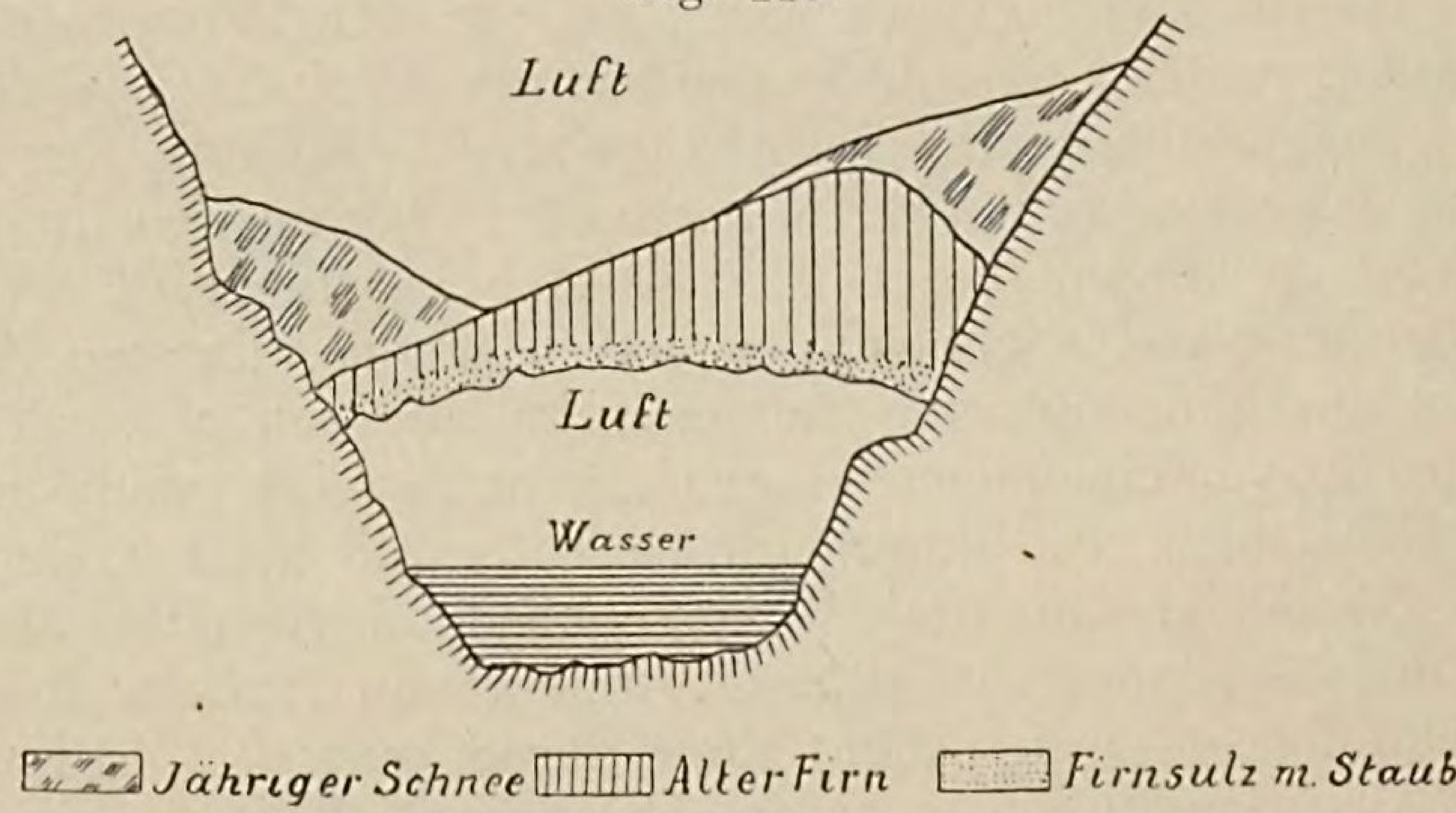
[2]) *Ratzel*, Die Schneedecke besonders in deutschen Gebirgen, Stuttgart 1889.

[3]) Mit jenen Schneedünen, zu deren Aufwerfung es eines besonderen Ansatzkernes bedurfte, sind die *Sastrúgi* Ostrusslands und Sibiriens nicht auf gleiche Stufe zu stellen, welche vielmehr in die Klasse der oben (S. 295) erwähnten, im Sande seichter Gewässer erkennbaren Wellenkräuselungen gehören. Der längere Zeit mit unverminderter Stärke in gleicher Richtung wehende Steppenwind bildet parallele Furchen, nach denen sich der Reisende in der pfadlosen Wüste oft ganz allein zu richten imstande ist.

undifferenziertes Sediment, als jenes trostlose „Leichentuch der Natur", von welchem *Middendorff* und *v. Wrangell* beredte Schilderungen entworfen haben. Hier vermag selbst die Sommerwärme keinen Wandel zu schaffen, indem die Schneeschicht zwar unter deren Einwirkung dünner wird, nicht aber gänzlich verschwindet; im Gebirgslande dagegen tritt die einem jeden wohl bekannte Streifenbildung an den Abhängen der Höhen ein, indem der verfestigte Schnee in langen Zügen zumal auf der Schattenseite der Berge liegen bleibt, nachdem er von den Kuppen und Kämmen längst hinweggebeizt ist. Um diese Zeit treten auch die *Schneewächten* oder *Schneeschilde* am deutlichsten hervor; der Schnee schiebt sich über den Rücken der Anhöhen hinweg und bleibt in Form einer dünnen, allen Gesetzen der Schwere anscheinend Hohn sprechenden Schicht hängen, wie denn Unglücksfälle bei Frühlingstouren im Hochgebirge gar nicht selten auf das unvorsichtige Betreten solcher Wächten sich zurückführen lassen.

Davon, dass die Firnflecken oder örtlichen Schneemulden sich vielfach in Schuttkegel und Schutthaufen eingebettet finden, ist

Fig. 119.

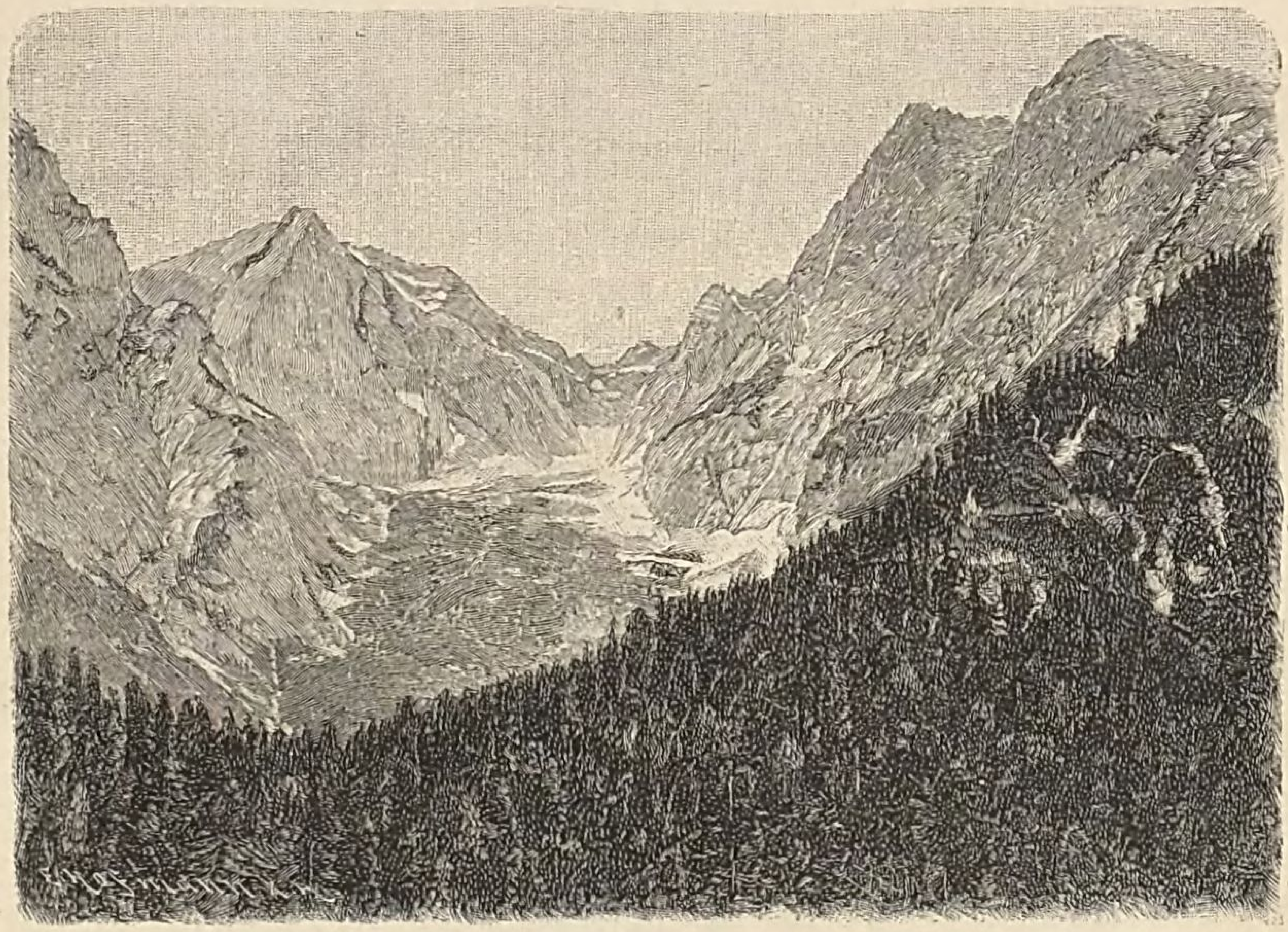


bereits die Rede gewesen; auch enge Schluchten bewahren den Schnee lange auf, und wenn vom Boden her eine allmähliche Zerstörung der untersten Schichten sich bemerklich macht, kann es zur Entstehung jener eigentümlichen Firnbrücken kommen, deren eine *Ratzel* im Stillachgrunde (Algäu) mehrere Jahre hinter einander beobachten konnte (s. dieselbe in unserer *Fig. 119*), deren vollständige Bildung aber doch auch in manchem Jahre unterbleibt. Innerhalb der Geröllhalden werden diejenigen Ränder bevorzugt, welche die Verbindung mit der ansteigenden Felswand herstellen, weil da der Insolationsschutz der vollkommenste ist. Vorab das Wetterstein- und Karwendelgebirge sind reich an Firnflecken, von denen gewöhnlich eine namhafte Anzahl ein ungefähr gleiches Niveau einhält; die sogenannten *Kare*, eigentümliche Hohlräume des Kalkgebirges, sind teils *Schutt-* teils auch *Schneekare* oder wohl auch beides zusammen. Wir stellen eine solche Kombination in *Fig. 120* nach einer im Karwendel aufgenommenen Photographie dar. Auch

die fälschlich von Vielen als Gletscher bezeichnete „*Eiskapelle*“ bei St. Bartholomä am Königs-See ist nichts anderes als ein recht ausgedehnter Firnfleck. *Ratzel* erkennt in dem geselligen Auftreten vieler solcher Flecke von meist schmutzig-grauer Farbe das Hauptkennzeichen der von ihm mit diesem Namen belegten *Firnfleckenlandschaft*, die er als „trübe und lebensarm“ charakterisiert. Jeder Fleck ist zugleich eine Quelle, die sich allerdings vielfach unter den aufgehäuften Schottermassen verbirgt.

Die einmal vorhandene Schneefläche gibt eine gute Grundlage für ausgedehnte *Reifbildung* ab, und es entstehen dann auffallend

Fig. 120.



geformte Granulationen. Im Winter tritt der Reif sehr häufig in der Gestalt des *Rauhfrostes* (S. 221) auf, wobei sich dann die schönsten Krystallisationen ergeben können. Der Schnee selbst aber wird unter der Einwirkung des Reifes, wie sich *Hugi* ausdrückte, *krustig*, und sein Aussehen erinnert mehr und mehr an das des Eises [1]). Dichtere Eisformen, welche man sich wohl hüten muss mit dem am Boden selbst entstandenen Eise zu verwechseln, liefert, zumal in höheren Regionen, auch der Hagel; unter den wenigen Forschern, welche das Hochgebirge von Habesch näher kennen gelernt haben, wird noch immer darüber gestritten, ob weite weisse Felder dort-

[1]) Die eigenartige Struktur der Treibschollen in Flüssen (S. 365) erklärt *Ratzel* dadurch, dass sich fortwährend neue *Rauhfrostränder* an die bereits gebildete Eisscheibe ansetzen.

selbst für Firn- oder für Hagelfelder zu halten seien, und die letztere Annahme scheint vieles für sich zu haben.

Das Eindringen der Wärmestrahlen in die Schneemassen bedingt örtliche Schmelzungen, durch welche eine eigentliche *Schichtung* derselben herbeigeführt werden kann. *Schurtz* hat im Erzgebirge diese Schichtungsverhältnisse genauer verfolgt und gefunden, dass sich im ersten Stadium drei deutlich gegen einander abgegrenzte Straten unterscheiden lassen; die oberste besteht aus trockenem und porösem, die mittlere aus feuchtem und dichtem Schnee, und tiefer unten ist das Gefüge des Schnees das alte, lockere geblieben. Das spezifische Gewicht des Schnees ist ein sehr geringes, wie daraus, dass zwischen den einzelnen Flöckchen und Kryställchen stets weite Zwischenräume frei bleiben, vonvornherein zu schliessen war. Nach *Ratzel* kann, die Dichte des am meisten konzentrierten Schnees = 1 gesetzt, diejenige feinen Pulverschnees aus Schneewehen gleich 0,25 bis 0,27, diejenige körnigen und mit Reifkrystallen versetzten Schnees gleich 0,30 bis 0,33 und endlich diejenige des stark überreiften Schnees im Mittel gleich 0,40 gesetzt werden.

Lawinen. Dass der Schnee, auf eine geneigte Unterlage gebracht, ins *Fliessen* gerät, ist eine bekannte Sache. Auf Dächern lässt sich im Winter, wenn die Temperatur um den Nullpunkt herum schwankt, diese Bewegung leicht in ihren einzelnen Stadien beobachten; sie erinnert nach *Hertz*, da es sich um langsame innere Formveränderungen unter dem Einflusse der Schwere handelt, an das Fliessen sehr zäher Flüssigkeiten und an die merkwürdigen *Ausflusserscheinungen bei Metallen*, wenn solche, wie bei *Trescas* Experimenten, durch eine schmale Oeffnung hindurchgepresst werden (s. auch S. 124)[1]. *Volger* fasst den Vorgang anders auf; der Schnee vergrössere sein Volumen und weiche deshalb nach der Seite hin aus, nach welcher er den geringsten Widerstand zu überwinden habe. Es sind hiemit bereits Verschiedenheiten der Auffassung angedeutet, welche uns später, bei der Theorie der Gletscherbewegung, von neuem begegnen werden; für jetzt ist festgestellt, dass die Bewegung des Schnees, sowie die Schwere ihren Einfluss ausübt, ausgelöst wird. Die Kohäsion der Schneeteilchen bewirkt, wie bei Thauwetter jeder Wanderer in unseren Strassen mit Unbehagen wahrnimmt, ein Ueberhängen der rutschenden Schneemassen, die Bildung förmlicher Schneewächten auf den Dächern, bis dann endlich der Zug nach unten den Kohäsions-Zusammenhang löst und ein jähes Abstürzen der losgelösten Partie zur Folge hat.

In ähnlicher Weise kommen im Hochgebirge die *Lawinenstürze* zustande, deren geographische Bedeutung erst neulich durch die Arbeiten von *Coaz* und *Ratzel* die entsprechende Würdigung erfahren hat. Die Frage, ob meteorologische Vorzeichen eines solchen

[1]) Der von *Hertz* gebrauchte Vergleich wird von *Ratzel* in seiner Berechtigung bestritten, scheint uns aber doch in einem Hauptpunkte die obwaltende Analogie glücklich zu kennzeichnen.

Vorkommnisses möglich und angebbar seien, ist noch ungeklärt, doch scheint die Möglichkeit des Zusammenhanges nicht von der Hand gewiesen werden zu können, indem *Dufour* von den orts- und wetterkundigen Mönchen des Grossen St. Bernhard erfuhr, dass diese bei gewissen Wolkenbildungen u. s. w. die in ihrem Hospize Herbergenden immer vor drohender Lawinengefahr warnen. Dem deutschen Mittelgebirge fehlen solche Ereignisse, wie *Ratzels* Zusammenstellungen beweisen, keineswegs gänzlich, wie denn z. B. am 2. Februar 1844 im Schwarzwald siebzehn Personen durch eine abstürzende Schneemasse getötet worden sind. Auch aus den Vogesen und aus den Bergen Thüringens wird ähnliches berichtet, doch fiel nur einiges Wild der Lawine zum Opfer.

Man kann *Staublawinen, Rutschlawinen* und *Rollawinen* unterscheiden. Erstere entstehen, wenn sich der Schnee in seinem trockenen, pulverisierter Substanz ähnelndem Zustande befindet, und wenn zugleich die Fläche, auf welcher er abwärtsfliesst, sehr steil geböscht ist. Die Staubmassen überziehen alle Gegenstände, auf welche sie treffen, mit einem dichten, weissen Mantel und wirken an sich schon sehr zerstörend, um so mehr, da bei der ungeheuren Geschwindigkeit, welche frei fallende Körper in Bälde erreichen, irgendwelche Schutzmassregeln von selbst ausgeschlossen sind; daneben wirkt aber mit oft noch grösserer Verheerung der Sturm, den eine solche Staublawine in der Luft entfesselt. Zunächst presst sie die vor ihr befindliche Luft zusammen, und zum zweiten wirkt sie aspirierend auf die seitlichen Luftmassen, welche sich mit grosser Gewalt in den hinter ihr entstehenden Hohlraum hineinstürzen. In denjenigen Fällen, in denen der Schnee ein grösseres Mass von Kompaktheit besitzt, kommt er auf stärker geneigten Flächen in ein förmliches Rollen, wie dies *A.* und *H. v. Schlagintweit* bemerkt haben, und auf einer mässiger geneigten Ebene rutscht der Schnee thalab, so dass also seine einzelnen Bestandteile wesentlich parallele Bahnen beschreiben.

Wenn die Lawine das Ende des Abhanges erreicht hat und nun mit ihrem Vorderteile, dem *Kopfe,* an ein ihr Weiterfortschreiten hinderndes Objekt gelangt, so staut sich die ganze Masse mit einem hörbaren Geräusche auf, welches die Gebirgsbewohner als *Knirschen* bezeichnen. Dadurch, dass die rückwärtigen Teile noch in voller Bewegung sind, während vorne diese bereits aufgehört hat, entstehen molekulare Ungleichheiten im Bau des *Lawinenkegels*; bergaufwärts ist sein Gefüge wesentlich dasjenige des Schnees überhaupt, aber nach unten zu haben die von rückwärts wirkenden Pressungen eine ganz eigentümliche Verfestigung des Schnees bewirkt und dessen Aggregatzustand in auffälliger Weise dem des Eises angenähert [1]).

[1]) Im März 1888 war vom Wolfendorn eine gewaltige Lawine gegen die Mulde des Brennerbades niedergegangen und hatte die Bahn völlig verschüttet. Die Züge fuhren drei Tage später durch den mühsam gegrabenen, tiefen Durchstich, und bei dieser langsamen Durchfahrt war vollauf Gelegenheit geboten, die Schneepressungen, die bis zu wirklicher Firnbildung (s. u.) sich steigerten, scharf zu beobachten.

Solche Lawinenkegel bleiben im Hochgebirge ohne namhafte Veränderung den ganzen Winter über liegen, thauen dann aber auf und verwandeln sich in eine kotige Masse, aus welcher heraus die Fremdkörper, welche die Lawine mit sich fortgerissen und begraben hatte, allmählich wieder zum Vorschein kommen. Als Lawinenüberbleibsel deutet *Ratzel* auch gewisse *zylindrische Schneemassen*, welche *Couston* auf einer der Orkaden im Februar 1847 sah; Schneewalzen von den verschiedensten Grössen, gigantische Säulen und kleine hohle, einem Damenmuffe vergleichbare Stücke überdeckten eine Fläche von ungefähr zwölf Quadratkilometer.

Im Gebirge kennt man die Bahnen, welche von den Lawinen gewöhnlich eingeschlagen werden, sehr gut; aus dem Gotthardmassiv besonders ist eine Anzahl solcher Rutschstrassen genau erforscht. Bei der Anlage von Baulichkeiten wird solchen Orten natürlich sorgfältig aus dem Wege gegangen. In der Schweiz gibt es viele Anpflanzungen, *Bannwälder* genannt, welche keine Axt berühren darf[1]), und in denen man mit einigem Rechte einen natürlichen Lawinenschutz erblickt. Ueberall da, wo sich der Gebirgswald der Eisregion nähert, entdeckt das kundige Auge die Furchen, welche die Lawinen in den Waldbestand gerissen haben; näher beschreibt *Martins* die Verwüstungen in dem Forste, welcher sich vom Dorfe des Pelerins gegen die Aiguille du Midi (im Montblancgebiete) hinaufzieht, und auch von den um den Kamerunpik (fast Montblanchöhe) sich ausbreitenden Wäldern ist ähnliches berichtet worden.

Schnee, Firn und Eis. Schon zum öfteren ist im vorstehenden ein Wort gebraucht worden, für das es uns noch an einer genauen Begriffsbestimmung fehlt: es ist das Wort *Firn* (französisch *névé*), welches in einer Modifikation — Ferner statt Gletscher — allgemein bekannt ist. Die flimmernden Krystallgestalten, welche dem Schnee, unmittelbar nach seinem Falle, eigen sind, verliert der in tiefere Horizonte herabsinkende Schnee, er wird körnig und verwandelt sich allmählich in den Firn; dieser Umwandlungsprozess nimmt gewöhnlich längere Zeit in anspruch, doch genügen bei höherer Temperatur, wie *Desor* bemerkt haben will, auch wenige Stunden hiezu. *Firn ist die Bezeichnung für eine der mittleren Höhenzone des Hochgebirges eigentümliche Uebergangsform zwischen gewöhnlichem Schnee und jenem Eise, aus welchem die Gletscher bestehen.* Man versteht jetzt, worin sich die Firnflecke, deren wir öftere Erwähnung zu thun hatten, von den gewöhnlichen Schneehalden unterscheiden.

Dieser Uebergang ist, wie allenthalben in der Natur, ein vollkommen kontinuierlicher; der *Hochfirn*, den *Charpentier* als eine besondere Varietät dem *Tieffirn* gegenüberstellte, ist weit fernkörniger, als letzterer. Dass die Firnbildung wesentlich durch den

[1]) Vorteilhaft ist übrigens diese Verwahrlosung nach *Coaz* gar nicht, vielmehr genügt ein Bannwald seinem Zwecke um so besser, je mehr er dem üblichen rationellen Betriebe unterstellt ist.

von oben her wirkenden Druck hervorgebracht wird, unterliegt keinem Zweifel, doch ist man über die näheren Umstände und insonderheit über die Art, wie die Temperatur mitwirkt, noch nicht ausreichend unterrichtet.

Die Oberfläche der Firnmasse ist meist *gerippt* oder *gefurcht* (vgl. S. 295 und S. 364), doch erblickt *Heim* in diesen Unebenheiten nicht sowohl mechanische Leistungen des darüber hinstreichenden Windes, sondern die Schmelzgebilde warmer und feuchter Luftströmungen. Das Wasser, welches beim Schmelzen erzeugt wird, träufelt in das Innere ein, und angesichts dieser starken Durchlässigkeit des Firnes kommt es nur ausnahmsweise dazu, dass Bäche geschmolzenen Wassers sich durch die äussere Firnfläche hindurchschlängeln. Je tiefer wir aber auf dem Firnfelde herab gelangen, um so geringer wird die Porosität der Masse, immer stärker findet man die wirkliche *Vereisung* ausgesprochen; immer dünner wird die oberflächliche Masse des eigentlichen Firnschnees, während in den tieferen, einem stärkeren Drucke ausgesetzten Partien bereits das reine Eis bemerkbar wird. Ohne scharfe Grenze geht dieses *Firneis* in das diesen Namen im vollen Sinne verdienende *Gletschereis* über, welches erst in relativ geringer Meereshöhe die wohlbekannte Struktur annimmt. Kurze Gletscher, d. h. solche, deren Anfang nur eine geringe Vertikaldistanz vom Ende hat, bestehen mitunter ganz aus Firneis, ohne dass es zur Bildung wahren Gletschereises käme.

Schlamm, Staub und organische Ueberreste sind regelmässige Begleiter des Firnes, und es hat besonders *Ratzel* dargethan, dass durch sie das Bild des Firnfeldes nicht nur landschaftlich, sondern einigermassen sogar auch physikalisch bestimmt wird. Der Schnee wirkt auf den Schutt sozusagen konzentrierend; man kann zumal die Firnflecke einem weissen Tuche vergleichen, auf welchem sich die darauf angesammelten Fremdkörper sofort bemerklich machen, und wie dann diese beim Zusammenraffen des Tuches auf einen kleinen Raum zusammengedrängt werden, so sammelt auch der sich immer mehr verfestigende Schnee und Firn die kleinsten Gesteinstrümmer in sich und transportiert sie thalabwärts. Was später aus denselben wird, das wird sich bei der Betrachtung der Gletscherresiduen herausstellen.

Allgemeine Beschreibung eines Gletschers. Von einer gewissen Höhengrenze an aufwärts fällt der jährliche Niederschlag zum grössten Teile *in Form von Schnee.* Die überwiegende Menge dieses Schnees sammelt sich in mulden- oder kesselförmigen Hohlräumen an, in den *Nährgebieten* des Gletschers [1]), und diese setzen sich dann gewöhnlich in thal- oder schluchtenähnlichen Hohlräumen fort, welche sich gegen die Ebene hin öffnen. Noch im Nährgebiete

[1]) Bekannt ist, dass die Gletscher (*glacier, ghiaccajo*) in einigen Teilen der Alpen auch *Ferner*, in anderen, so vorab in den Tauern, *Kees* genannt werden.

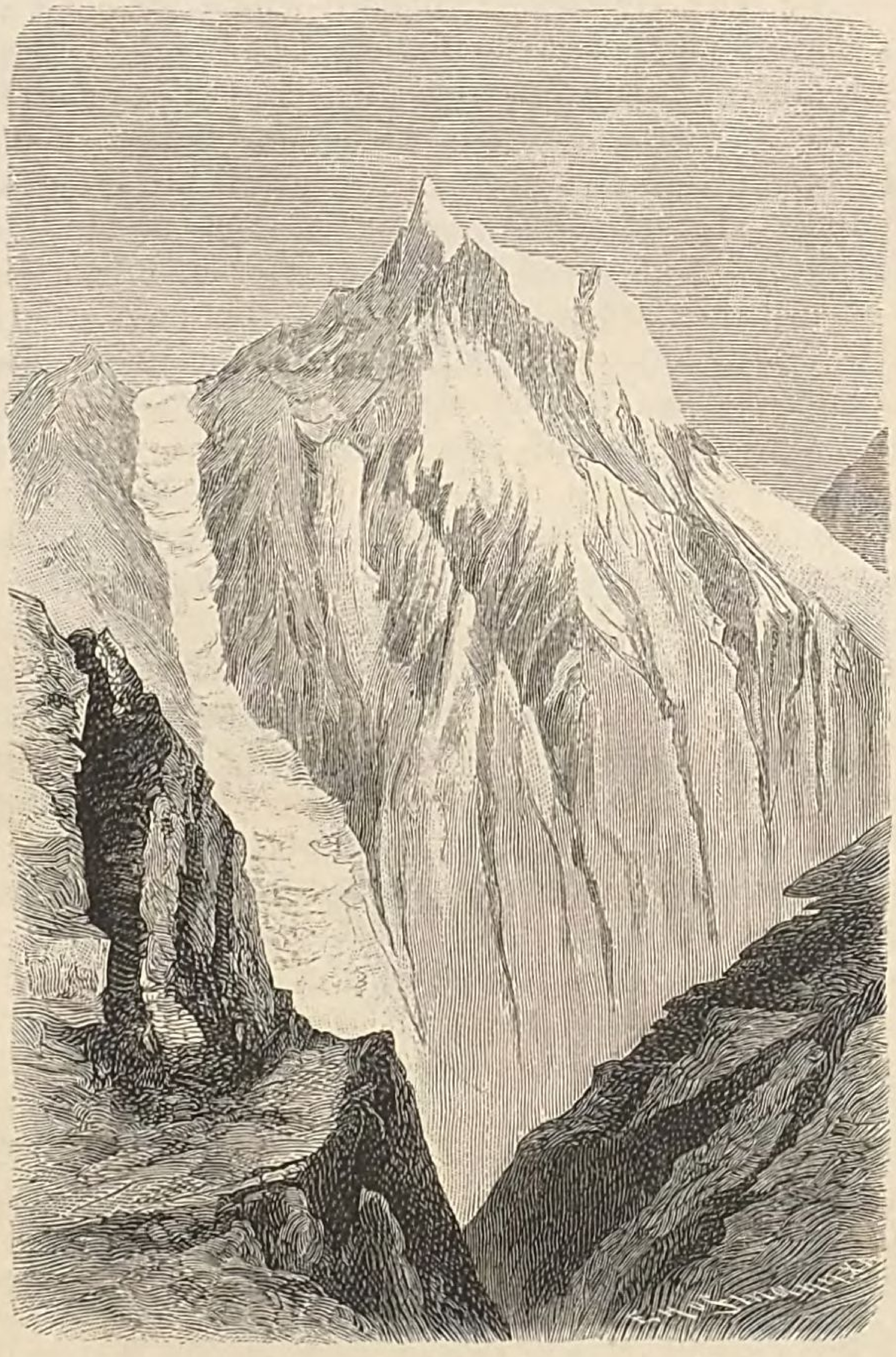
vollzieht sich der uns bekannte Uebergang zum Firn, und dieser wird da, wo die Verengerung eintritt, zu dem in ununterbrochener Bewegung befindlichen Gletschereise. *Einfache Gletscher* sind seltener; zumeist vereinigen sich Eisströme, die verschiedenen Firnmulden entstammen, zu einem zusammengesetzten Gletscher, und zwar gibt es sowohl *einfach* als auch *mehrfach zusammengesetzte*, wie denn z. B. der bekannte Gornergletscher sich aus fünf Hauptarmen bildet, von denen manche selbst wieder aus mehreren Armen bestehen. In das Flachland dringt der Eisstrom mit einer schmäleren Spitze, der *Gletscherzunge*, vor, welche in einigen Fällen durchbrochen ist; dann strömt gemeiniglich aus dem *Gletscherthore* der *Gletscherbach* hervor. Das *Gletscherbett*, längs dessen die Gletschermasse fortrückt, weist alle möglichen Böschungsverhältnisse auf; mehrenteils sanft absteigend, wird es doch auch gar nicht so selten durch förmliche Abstürze, *Gletscherstürze*, unterbrochen, die in ihrer Art den Wasserfällen verwandt sind, und über welche sich das Eis in einem Strome, wennschon natürlich mit vielfachen Zerklüftungen, herabsenkt; *Heim* führt den Triftgletscher im Berner Oberlande als Beleg für einen solchen Gletschersturz an, der, aus der Ferne gesehen, wie der Rheinfall, nur von vierfacher Breite und Höhe, erscheine. Diese eigentümliche Konsistenz des Eises hat zur Folge, dass es ganze *vergletscherte Berge* geben kann; trotz der steilen Abhänge erscheinen zumal im Karakorum-Gebirge, an den Quellen der den Indus bildenden Ströme, die höchsten Berge wie eine homogene Eismasse; vgl. die nach *Shaw*s Zeichnungen angefertigte *Fig. 121*. Der Shayok entspringt in einem wahren Eisozeane, welchen *Shaw* des Namens *„Mer de Glace“* für weit würdiger als die bekannten grossen Gletscher in der Nähe von Chamouni erklärt.

Nicht ohne eine gewisse Willkürlichkeit lässt sich die Scheidung der Gletscher in solche *der ersten und der zweiten Ordnung* vollziehen. Letztere steigen nicht bis zum Thale herab, und so nennt man sie auch *Hänge-, Hoch-* oder *Jochgletscher*. Selbst der geübte Alpenforscher weiss aber oft nicht bestimmt anzugeben, ob er es im Einzelfalle mit einem solchen untergeordneten Gletscher oder aber bloss mit einer Firnmulde zu thun habe. Auch kann man, wenn man an solchen im ganzen wenig besagenden Einteilungen Geschmack findet, noch Zwischenformen aller Art einschieben.

Von ungleich grösserer Wichtigkeit, weil dabei ein wenn auch noch nicht in allen Einzelheiten erkanntes ursächliches Moment mitspielt, ist die Sonderung der Gletscher nach *regionalen Typen*, wie sie von *Heim* durchzuführen versucht worden ist. Das allgemeine Bild der Gletscherentwicklung, welches wir oben zeichneten — Firnmulde, Verengerung derselben zum eigentlichen Gletscher, Eisstrom, Eismulde — entspricht wesentlich dem *alpinen Typus*, der sich auch bei anderen Hochgebirgen unseres Erdteiles ausspricht. Anders ist der *skandinavische Typus* beschaffen; flache, einförmige Firnfelder, zwischen denen das anstehende Gestein nur selten sich heraushebt, bedecken die breiten Bergplateaus, und von ihnen zweigen sich nicht sowohl einzelne, mächtige Gletscherströme ab, wie man dies

von unseren Alpen in der Erinnerung hat, sondern nach allen Richtungen fast schiebt sich die Masse gleichmässig fort, um dort als Gletscherlawine abzubrechen, hier in Form zahlreicher, steiler Gletscherrinnen in die Thäler sich zu ergiessen. Der *grönländische Typus* kann als die höchste Steigerung des skandinavischen aufgefasst werden; hier gibt es keine gesonderten Gletscher mehr, sondern alles ist zu einer kompakten, geschlossenen Eismasse, dem

Fig. 121.



Binneneise, zusammengewachsen, aus welchem nur da und dort noch vereinzelte Felskuppen, die *Nunataks* der Eskimos, emporragen. Wir halten es für notwendig, diesem gar manche Besonderheiten und Abweichungen mit sich bringenden Typus später eine besondere Betrachtung zu widmen. Endlich scheint, nachdem *Güssfeldts* Studien in den chilenischen Cordilleren uns mit einem völlig anders gearteten Auftreten des alpinen Schnee- und Eisphänomenes be-

kannt gemacht haben, auch noch ein besonderer *Andentypus* anerkannt werden zu müssen[1]).

Die Thatsache, dass nicht überall auf der Erde die Gletscherverhältnisse die gleichen sind, legt es nahe, letztere zunächst unter dem *geographischen Gesichtspunkte* zu erörtern. Erst wenn dies geschehen, erscheint es an der Zeit, zur *glazialen Physik* überzugehen.

Geographie der Gletscher. Das tropische Asien und Australien besitzen beide keine über die Schneegrenze hinaufreichenden Erhebungen und sind folglich ohne jede Gletscherentwicklung. Die Anden Süd- und Mittelamerikas sind, wie schon erwähnt, teilweise vereist, doch kommt es nur ausnahmsweise zur Entstehung echter Gletscher. Als eine solche Ausnahme verzeichnet *Heim* den Nevada da Sta. Marta, und auch am Iztaccihuatl in Mexiko haben *Felix* und *Lenk* einen wirklichen, vorher noch nicht beschriebenen Gletscher aufgefunden. Von Afrika durfte *Heim* noch annehmen, dass ihm eigentliche Eisströme gänzlich fehlten, allein nachdem *H. Meyer* den Kilimanjaro seitdem wirklich bestiegen und als eine durch und durch vergletscherte alte Vulkanruine (S. 151) erkannt hat, muss auch dieser Erdteil mit in unser Verzeichnis einbegriffen werden.

Von den Gebirgen der nördlichen gemässigten Zone stehen natürlich unsere Alpen obenan. Wie massenhaft in ihrem Inneren sich die Gletscher entfaltet haben, davon ist man hauptsächlich durch *E. Richter*s schöne Monographie der Ostalpen[2]) unterrichtet worden. Danach ist die Anzahl der als erkennbare Individuen auftretenden Gletscher lediglich im Bereiche dieser Alpenhälfte eine überaus grosse: die nördlichen Kalkalpen enthalten ihrer 31, die Silvretta-Alpen 126, die Ortlergruppe 94, die um Adamello und Presanella gelagerte Gruppe 55, das zusammenhängende Eisgebiet der Oetzthaler und Stubayer Berge 298, die Zillerthaler-Alpen und Grossen Tauern zusammen 320, endlich die südlichen Kalkalpen 43.

[1]) Das Spanische der Südamerikaner kennt keine besondere Bezeichnung für Gletscher; „*el ventioquero*‘ bedeutet ursprünglich eine Schneewehe und wird dann übertragen für jede beliebige Schnee- oder Eismasse gebraucht. Immerhin sind wirkliche Gletscher vorhanden, jedoch sind sie in auffallendster Weise zerklüftet, in eine Vielzahl isolierter Eissäulen zerlegt. Diese Zersplitterung fand *Güssfeldt* an den hoch gelegenen Schneefeldern der Anden regelmässig vor; der Chilene nennt die sonderbaren Schneefiguren „*nieve penitente*“ (Büsserschnee), weil dieselben den Eindruck menschlicher Statuen hervorbringen. Sie bilden sich unter dem vereinigten Einflusse der Insolation und der herrschenden Dauerwinde; letztere erzeugen zuerst bloss Rippungen, und wenn dann die Sonnenstrahlen mit ihrer vollen Kraft auf diese westöstlich verlaufenden Leisten einwirken, formen sich die auffälligen Schneegebilde, zwischen denen ein Reiter sich völlig verbergen kann. Angesichts des Umstandes, dass dieser Typus der massgebende ist, wirft *Güssfeldt* die Frage auf, unter welchen Verhältnissen eine Eismasse überhaupt noch den Namen Gletscher führen dürfe.

[2]) Die auf gute Gründe sich stützende Definition der „Ostalpen“ von *Böhm* nimmt das Rheinthal zur Grenze, so jedoch, dass vom Splügen an diese Linie, um nächst verwandte geologische Formationen nicht zu trennen, weit nach Westen vorspringt, dem Ostufer des Luganer-Sees entlang läuft und dann erst sich nach Osten wendet.

Die Gesamtvergletscherung umfasst nach *Richters* Messungen nicht weniger als 1462 qkm. Dabei ist zu erinnern, dass die grossartigsten Alpengletscher doch eigentlich im Westen sich finden (Aletsch-Gletscher im Berner Oberlande, Mer de Glace u. s. w.). Die Pyrenäen, ein niederschlagsarmes Gebirge, haben nur an ihrem nördlichen Abfalle einige Gletscher zweiter Ordnung, wie solche auch in der Sierra Nevada Spaniens vorkommen. Bedeutend ist die Vergletscherung im Kaukasus, wo der grosse Karagan-Gletscher eine Länge von 8 km erreicht; auch in den Gebirgen von Daghestan hat *Sjögren* kürzlich wirkliche Gletscher nachgewiesen. In Asien konzentriert sich die echte Vergletscherung auf die gewaltigen zentralen Gebirgsmassen, indem es anderwärts, z. B. auf dem Fuji-no-yama, zwar zur Vereisung des in geschützten Lagen niemals oder doch nur selten schmelzenden Schnees, nicht jedoch zur Aussendung von Eisströmen kommt. Riesige Gletscher finden sich im Himálaya und den angrenzenden Gebirgen, zumal in den Bergen von Kaschmir, im Hindukusch und im Karakorum (s. o.), nicht minder auch im Thianschan (Zaraschan-Gletscher 50 km lang), während das Altai-Gebirge *heutzutage* (s. u.) wegen der enormen Lufttrockenheit nahezu ganz gletscherfrei ist. An Eis fehlt es den Hochgipfeln der Halbinsel Kamtschatka nicht, aber es scheint ihm die für die Einreihung unter die Gletscher notwendige Eigenschaft der Fortbewegung abzugehen. Die Längsgebirge in Nordamerika sind nicht ganz ohne Gletscher, zumal auf ihrer stärker befeuchteten Westseite; gegen Osten fehlen sie fast ganz, und in den Rocky-Mountains hat man, durch Zusammenhaltung der Berichte verschiedener Reisender, bislang erst *drei* Gletscher als wirklich vorhanden feststellen können.

Teils zur nördlichen gemässigten, teils auch schon zur polaren Zone gehören die Gletscher Skandinaviens und Islands. Norwegen besitzt, wie wir schon wissen, ausgedehnte zusammenhängende Gletschermassen; die Firnfläche der Justedalsbräe hat einen Inhalt von 900 oder, wenn man die Begrenzung etwas weiter fasst, sogar von 1500 qkm. Zahlreich, aber meist nur klein sind die isländischen Gletscher, deren Eiszungen sich vielfach mit Lava- und Aschenströmen vermengen. In die Firnschichten haben sich vulkanische Auswurfsmassen oft derart eingebettet, dass die ursprüngliche Farbe des Eises ganz verloren gegangen ist. Von den Gletschern Grönlands [1]) wird in anderem Zusammenhange (s. o.) gehandelt werden.

[1]) Die übrigen Zirkumpolarländer lassen sich, soweit es auf die Gletscherentfaltung ankommt, als Zwischenglieder zwischen der alpinen und der grönländischen Form ansehen. Spitzbergen ist in seinem noch gar nicht erforschten Inneren mutmasslich ganz übereist; den Is-Fjord z. B. umrahmen, wie *v. Heuglin* berichtet, ununterbrochene, steil ins Meer sich absenkende Eismassen, die sich kaum noch als distinkte Gletscher unterscheiden lassen. Doch fehlt es im Süden auch an wirklichen Gebirgsgletschern nicht. Die Bären-Insel ist im Hochsommer fast schnee- und eisfrei, während Jan Mayen sich einer grossen, einen alten Krater (S. 153) darstellenden Firnmulde rühmen kann, aus welcher nicht weniger als neun Gletscherströme gespeist werden. Nowaja-Semlja muss mit seinen nördlichen Teilen dem grönländischen Uebereisungstypus zugewiesen

Betreffs der südlichen gemässigten Zone können wir uns kurz fassen. Die chilenischen Gletscher haben wir bereits als etwas ganz besonderes kennen gelernt; echte Gletscher begegnen uns dagegen an der Ostküste Südamerikas. In Argentinien und Patagonien gibt es gewaltige Gletscher, häufig umrahmt von südlicher Vegetation, ihre Zungen bis an das Meer vorschiebend. Dadurch, dass sie sehr tief, stellenweise bis zu einer Seehöhe von 200 m herabreichen, sind auch die neuseeländischen Gletscher ausgezeichnet. Die südliche Insel Neuseelands soll nach *Haast* mehr denn fünfzig Gletscher erster Ordnung in sich schliessen. — Die südliche Polarkalotte ist noch wenig erforscht; dass in ihrem Inneren das Glazialphänomen verwandte Züge aufweisen wird, wie im hohen Norden, ist an sich nicht unwahrscheinlich, und zudem liegen hier die Bedingungen zu grossartiger Eisentwicklung ganz besonders günstig. Durch die nach Süd-Georgien entsendete Expedition wurde konstatiert, *dass auf dieser Insel die Schneegrenze bis zum Meeresstrande herabreicht*, eine Depression, wie sie auf unserer Halbkugel noch an keiner Stelle beobachtet worden ist.

Physik der Gletscher. Wenn wir die physikalischen Verhältnisse der Gletscher in betracht zu ziehen beginnen, so tritt zuerst die Frage an uns heran: *Was ist Gletschereis, wodurch unterscheidet es sich von anderen Formen, unter welchen gefrorenes Wasser uns in der Natur begegnet?* Schon diese Fragestellung schliesst einen Teil der Antwort ein, denn das Eis der Gletscher ist ja eben nicht, wie dasjenige der Seen und Flüsse, durch unmittelbare Aenderung des Aggregatzustandes das geworden, als welches wir es kennen lernen; es war zu keiner Zeit freies, flüssiges Wasser, sondern zuerst Schnee, dann Firn in seinen verschiedenen Transformationsstadien (s. o.), und endlich ist durch Druckprozesse das Firneis in eigentliches Gletschereis übergegangen.

So überzeugt uns denn auch schon ein oberflächlicher Anblick, dass das Eis der Gletscher ganz anders aussieht, als jenes, welches sich im Winter auf der Oberfläche der Gewässer bildet, wie dies bereits anlässlich der verschiedenen im Meere treibenden Eisarten kurz angedeutet worden ist (S. 290). Der Hauptgegensatz lässt sich, wenn man nur auf die zunächst erkennbaren Unterscheidungszeichen Gewicht legt, dahin präzisieren, dass gewöhnliches Eis sich als eine homogene Masse darstellt, während das Gletschereis durch ein vielfach verzweigtes Netz von Kapillarspalten in polyedrische Stücke zerlegt wird. Ein solches Stück führt den Namen *Gletscherkorn*. Allerdings hatte man auch schon im Firneise bei scharfem Hinsehen solche distinkte Stücke, die *Firnkörner*, entdecken können, allein diese sind rund und füllen auch den Raum nicht aus, sondern sie sind durch Eiszement mit einander verbunden.

werden, während um den Matotschkin-Schar herum nur gelegentlich kleine Gletscher der zweiten Ordnung auftreten; über Franz-Josephs-Land lässt sich zur Zeit noch kein recht sicheres Urteil abgeben.

Man kann demgemäss kaum davon sprechen, dass die Firnkörner nach und nach in die ihnen verwandten und nur einen höheren Grad der Ausbildung repräsentierenden Gletscherkörner übergingen, sondern das Verhältnis beider ist ein ganz anderes, von *Heim* mit folgenden Worten ausgedrücktes: „Das Firnkorn verschwindet räumlich und zeitlich vollständig, und daraus entsteht etwas wahrscheinlich durchaus anderes neues, das Gletscherkorn.“ Die Grösse dieser Elementarteile des Gletschers ist sehr veränderlich, doch kann man annehmen, dass dieselbe von oben nach unten langsam zunimmt.

Das Gletscherkorn *wächst* also, und es muss erforscht werden, *nach welchen Gesetzen sich dieses Wachstum richtet. Heim* hat Gletscherkörner so neben einander gelegt, dass ihre Krystallachsen parallel waren, und indem er dann einen starken Druck auf sie ausübte, sah er sie zu einem einzigen, grösseren Krystalle sich verbinden; da die Fortbewegung der Gletschermasse ohne derartigen Druck nicht denkbar ist, so müssen allerdings die dem Gletscherende benachbarten Eispolyeder grösser sein, als die der Firnmulde nächst anliegenden. Ein Ueberkrystallisieren von einem Korne zum anderen betrachtet *Hagenbach* als die eigentliche Ursache der Vergrösserung. *Forel* endlich wollte dem einsickernden Schmelzwasser den wesentlichsten Anteil bei der hier geleisteten Arbeit zuschreiben. Anfänglich etwas wärmer, als das Eis, so schloss er, gibt das einträufelnde Schmelzwasser seine überschüssige Wärme doch sehr bald ab, gefriert und umschliesst so das bereits vorhandene Korn mit einem stets sich erneuernden, dessen Volumen unaufhörlich vermehrenden Eismantel. Aber *Forel* ist ein so objektiver Gelehrter, dass er seine Theorie, so gut sie auch mit früher von ihm angestellten Beobachtungen und Versuchen zu harmonieren schien, selbst aufgab, als sich herausstellte, *dass normales Gletschereis völlig undurchlässig gegen Flüssigkeiten ist.* Dies hatte allerdings vor längerer Zeit schon *Hugi* behauptet, allein *Agassiz* hatte der entgegengesetzten Ansicht zum Siege verholfen. Das entscheidende Experiment wurde von *Hagenbach* und *Forel* gemeinschaftlich in einer natürlichen Höhle des *Arolla-Gletschers* ausgeführt. Man bohrte schräg abwärts tiefe Löcher in die Eiswand und füllte dieselben mit einer Anilinlösung, welche, wenn das Eis auch nur im geringsten imbibitionsfähig wäre, nach einiger Zeit die angrenzenden Eisschichten gefärbt haben würde, allein dies geschah nicht, vielmehr behielt die Höhlenwandung ihre natürliche Farbe, und der Anilinzylinder verblieb durch Tage auf seiner ursprünglichen Höhe. Unter dem Einflusse dieser entscheidenden Beobachtung muss man zu der älteren Anschauung zurückkehren: *Druck und Krystallisationsprozesse sind es, welche die allmähliche Vergrösserung der Körner bewirken.*

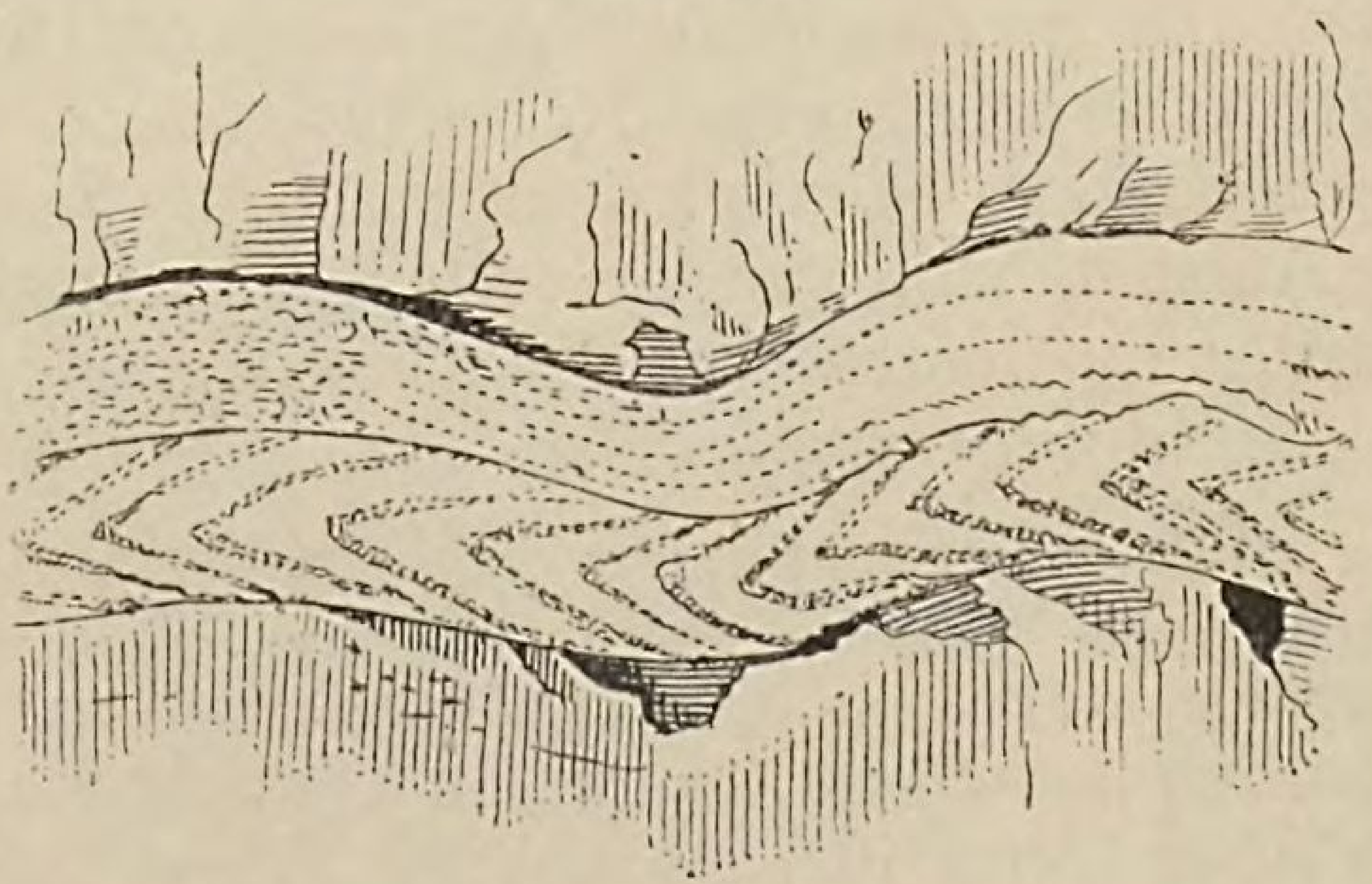
Optische Untersuchungen im Polarisationsapparate haben festgestellt, dass die Gletscherkörner wirklich als Krystalle, und zwar als *einachsige*, zu gelten haben. Die Ansicht jedoch, dass die optischen Achsen aller einzelnen Körner regelmässig nach der nämlichen Richtung orientiert seien, ist nach *Klocke*s ausgedehnten

Messungen am *Morteratsch-Gletscher* jedenfalls aufzugeben. Auch ist es noch nicht gelungen, feste Beziehungen zwischen der Achsenlage und den sogenannten *Fusions-* oder *Forelschen Streifen* nachzuweisen. So benennt man gewisse feine parallele Höhlungen, mit denen sich die Oberfläche des im Zustande der Schmelzung befindlichen Gletscherkornes bedeckt, und die bis zu 0,5 mm breit werden können. Dagegen wird von den *Tyndallschen Schmelzfiguren*, welche bald als runde Scheibchen, bald als Sternchen nach Art der bekannten Schneefiguren (S. 219) auftreten, angenommen, dass ihre Ebene senkrecht zur Achse stehe.

Darüber, ob auch für die tieferen Partien des Gletschers eine ähnliche *Schichtung* mit zum Gletscherbette parallelen Grenzebenen existiere, wie solche für die oberflächlichere Masse in der That besteht, sind die Akten noch nicht geschlossen. Eine *Lamellen-* oder, wie man gewöhnlich sagt, eine *Blaublätterstruktur* ist dagegen gegen das untere Ende hin deutlich wahrzunehmen, doch kommen die neueren Forscher, an ihrer Spitze *Heim*, in der Annahme überein, *dass hier nicht eigentliche Schichtung, sondern Schieferung vorliege* (S. 67). Nicht verwechselt dürfen mit den blauen die *weissen Blätter* werden, welche allenthalben, ohne jedoch in grössere Tiefen hinabzusteigen, als Eislamellen von blendend weisser Farbe von dem anders gefärbten eigentlichen Gletschereise sich abheben und als komprimierter, in die Querspalten eingedrungener Winterschnee zu erklären sind.

Auf den meisten Gletschern bemerkt auch das ungeübte Auge oberflächliche Streifungen von schwärzlicher Farbe, welche, so wie es *Fig. 122* darzustellen sucht, von den Rändern her gegen die

Fig. 122.



Mittellinie des Gletschers vordringen. Man nennt dieselben *Schmutzbänder (Ogiven, Chevrons)*. Das Material zu diesen spitzen Winkeln, deren Scheitel sich sämtlich dem Gletscherende zukehren, wird von der Aussenwelt geliefert; Staub und kleine Gesteinstrümmer lagern sich auf der Oberfläche des Gletschers ab, dringen durch Schmelzung wohl auch ein paar Millimeter tief ein und werden durch die Bewegung des Eises in der angegebenen Weise auseinandergezogen.

Während gewöhnliches Eis im höchsten Masse spröde und

unnachgiebig *gegen jedwede Eingriffe mechanischer Natur sich* verhält, ist die molekulare Beschaffenheit des Gletschereises eine durchaus andere. *Ueberaus nachgiebig gegen Druck, vermag es auch nicht den geringsten Zug zu ertragen.* Mit geeigneten Apparaten, wie sie *H. v. Helmholtz* konstruiert hat, kann man aus einem gegebenen Gletscherblocke beliebig geformte Körper herauspressen. Das Eis ist also für Druck *plastisch.*

Was die *Temperatur des Gletschereises* anlangt, so ist dieselbe durchaus nicht durch die ganze Masse hindurch die gleiche. Thermometerbeobachtungen im Hohlraume des Arolla-Gletschers (s. o.) haben ergeben, dass in einer Entfernung von nicht ganz einem halben Meter von der Wand jener Grotte die Temperatur zwischen — 0,002° und — 0,031° schwankte. *Forel* nimmt an, *dass der innere Druck des Eises den Schmelzpunkt erniedrige,* und da der Druck kein konstanter ist, so müsste diese Inkonstanz allerdings auch die Wärmeverteilung beeinflussen; *Buchanan* dagegen vertritt die These, *dass der Grad der Herabsetzung der Schmelztemperatur des Eises der Menge der darin enthaltenen gelösten Salze proportional sei.* Verhält sich dies wirklich so, was freilich *Forel* nicht zugeben will, so ist mit *H. Hergesell* und *Rudolph* zuzugeben, dass wir der Lösung der Fragen, weshalb Gletschereis Plastizität und eine Tendenz zur Bewegung besitzt, um einen Schritt näher gekommen sind.

Fortbewegung der Gletscher. Seit 1840 datiert die planmässige Forschung über die Bewegung des Gletschereises, über die Geschwindigkeit, mit welcher sich dieselbe vollzieht, und über die Ursachen, von denen sie abhängig ist. *Agassiz, Desor, A.* und *H. v. Schlagintweit, Tyndall, Fr. Pfaff, Koch, Klocke* und viele andere haben für eine grosse Anzahl nicht bloss europäischer Gletscher die Bewegungsverhältnisse studiert, teils durch Anwendung besonderer Messinstrumente, teils auf geodätischem Wege[1]), teils auch direkt, wie letzteres u. a. von *Forel* empfohlen und mit bestem Erfolge durchgeführt worden ist. Man legt in diesem Falle eine Reihe

[1]) Früher schlug man Pfähle in abgemessenen Distanzen ein, mass von einem bestimmten, dem Gletscher selbst nicht angehörigen Punkte aus die Azimute und Depressionen dieser Pfähle und hatte so auf der Gletscheroberfläche ein vollkommen bestimmtes Polygon festgelegt. Nach einiger Zeit wurde die Messung von neuem vorgenommen, und da nun das aus den nämlichen Pfahlköpfen bestehende Polygon gewisse Unterschiede gegen das frühere zeigte, so hatte man in diesen Deformationen ein Mass für die von den einzelnen Gletscherpunkten inzwischen zurückgelegten Wege. Sehr wertvoll für die ganze Gletscherphysik ist die im letzten Jahrzehnt zu hoher Ausbildung gekommene *Photogrammetrie*, welche *Meydenbauer* ursprünglich nur für Architekturzwecke begründet hatte, deren hohe Bedeutung für Terrainaufnahmen dann aber von *Porro* und *Paganini* in Italien, von *Koppe* und *Finsterwalder* in Deutschland dargethan worden ist, vom letztgenannten zumal für die uns hier interessierenden Gletschervermessungen. Ein an verschiedenen Fixpunkten aufgestellter *photographischer Theodolit* liefert zwei Bilder des Gletschers, welche die momentane Lage eines bestimmten Punktes mit grosser Schärfe festzulegen gestatten, und durch Vergleichung zweier zu verschiedenen Zeiten aufgenommener Doppelbilder erkennt man die stattgehabten Ortsveränderungen.

von Steinen so auf die Oberfläche des Gletschers, dass sie annähernd eine grade, zur Bewegungsrichtung normale Linie bilden, und von Zeit zu Zeit sieht man nach, wie sich diese Linie, ähnlich wie die Schmutzbänder (s. o.), nach unten zu ausgebeugt hat. Man ist dabei zu einigen erfahrungsmässigen Wahrheiten gelangt:

Im allgemeinen wächst die Bewegungsgeschwindigkeit des Gletschers von den Rändern gegen die Mitte hin. Doch ist nicht gerade die von beiden Rändern gleichweit entfernte Mittellinie oder Achse durch die Maximalgeschwindigkeit ausgezeichnet, vielmehr kommt letztere gewissen Punkten zu, deren krummlinige Verbindungslinie in Wellenschlingungen die Achse vielfach durchschneidet. Auch in einem achsialen Längenschnitte der Gletscheroberfläche herrscht nicht allenthalben die gleiche Geschwindigkeit. Gleichförmig ist die Gletscherbewegung nirgends, doch scheint ihr wenigstens in der Regel der Charakter der Stetigkeit zugesprochen werden zu müssen.

Mit der Bewegung des Gletschereises steht in engstem Zusammenhange die bekannte *Spaltenbildung.* Die nach oben weit klaffenden, gegen die Tiefe auskeilenden (S. 68) *Randspalten* sind unmittelbare Folgen einer fliessenden Bewegung und sammeln sich besonders zahlreich an in der Nähe von Vorsprüngen der Thalwand, von denen hie und da die Marginalspalten fächerförmig ausstrahlen. Wäre dagegen das Gefälle der Gletscheroberfläche ein konstantes, das Gletscherbett ein mathematisch regelmässiges, so gäbe es keine zur Bewegungsrichtung senkrecht verlaufende *Querspalten*, die denn auch manchen Gletschern so gut wie gänzlich fehlen [1]). Da, wo der Gletschergrund in seiner Neigung gegen den Horizont eine plötzliche Aenderung erfährt, klafft regelmässig eine solche Transversalspalte auf. *Längsspalten* endlich sind ein sicheres Kennzeichen dafür, dass der Hohlraum, innerhalb dessen der Gletscher sich fortschiebt, mit einem male einer Querschnittsänderung ausgesetzt ist. Unmittelbar nach der Verengerung muss sich die Eismasse einem breiteren Raume anpassen, und da das Volumen das gleiche geblieben ist, so kann die Anpassung nicht erfolgen, ohne dass an einzelnen Stellen der Zusammenhang unterbrochen wird.

Die *Geschwindigkeit der Gletscher* ist eine so verschiedene, dass gesetzmässige Normen dafür sich, vorläufig wenigstens, nicht aufstellen lassen [2]). Es gibt Ferner, die nur sehr langsam fortrücken,

[1]) Solche Gletscher, zu denen beispielsweise der viel begangene *Hochjoch-Gletscher* zählt, sind zu jeder Jahreszeit zugänglich, während andere Gletscher, wenn sie nicht *aper* sind, d. h. wenn Schnee die Spalten verhüllt, nicht ohne Gefahr und ohne die wohlbekannten Vorsichtsmassregeln des Anseilens u. s. w. betreten werden können.

[2]) Mathematische Untersuchungen über die Bewegung der Gletscher sind von *Odin* angestellt worden. Man kann *E. Richter* beipflichten, wenn er sagt, im Verhältnis zur Grösse des aufgewendeten mathematischen Apparates seien die nur eine Annäherung an die Wahrheit darstellenden Ergebnisse *Odins* bescheiden zu nennen, doch liegt immerhin ein gewisser Wert darin, dass vielfachen Vernachlässigungen zum trotz, wie sie, um lösbare Gleichungen zu erzielen, nicht vermieden werden konnten, die Rechnung zu Sätzen führte, welche auch die einfache Naturbetrachtung als richtig anerkennen muss. Die mittlere

während z. B. an einzelnen norwegischen und grönländischen Gletschern von *Helland* sehr beträchtliche Geschwindigkeiten erhalten wurden. Wir verzichten deshalb auch darauf, Zahlen hier zusammenzustellen, indem sich doch ein dieselben vereinigendes Band noch nicht knüpfen lässt. Ganz an der nämlichen Stelle ist die Geschwindigkeit in verschiedenen Jahren selbst verschieden; aus dem von *Rütimeyer* über die Vermessungsarbeiten an dem in mehreren Beziehungen ausgezeichneten *Rhone-Gletscher* erstatteten Berichte folgt z. B., dass 1886/87 der Gletscher allerorts langsamer fortrückte, als dies im Winter 1885/86 der Fall gewesen war.

Wir sind nunmehr vor die schwierige, schon seit fast zweihundert Jahren die Fachmänner in Atem haltende Frage gestellt: *Welches ist die letzte Ursache der Gletscherbewegung?* Jedenfalls ist dieselbe weder ein Fallen noch ein Gleiten, sondern ein wirkliches *Fliessen;* in jeder Hinsicht verhält sich ein Gletscher *wie eine auf geneigter Unterlage auflagernde dickflüssige Masse*[1]). Dies ist hauptsächlich durch die Arbeiten von *Rendu, Moseley* und *Forbes* ausser Zweifel gestellt worden, aber freilich ist durch diese Erkenntnis nur ein tieferer Einblick in das thatsächliche Verhalten, noch nicht jedoch in den ursächlichen Zusammenhang gewonnen.

Die älteste Theorie, welche dieses Namens wirklich würdig ist, wurde von dem verdienten Alpenforscher *Scheuchzer* formuliert, und als Verbesserungen derselben sind die späteren Theorien *Charpentiers* und *Forels* anzusehen. Das in die Gletschermasse eingedrungene Wasser soll gefrieren, sich ausdehnen, ein Wachsen und eine Schiebung des Gletscherkornes nach unten bewirken. Wir wissen, aus welchem Grunde auf diese so plausibel erscheinende Auffassung verzichtet werden muss. Eine andere Form nahm die *thermische Hypothese* bei *Moseley* an, der sich dahin aussprach, dass infolge von Temperaturschwankungen das Gletschereis abwechselnd Zusammenziehungen und Ausdehnungen erleide, allein von ersteren lässt sich kaum etwas bemerken, und zudem verhalten sich die tieferen Teile des Gletschers gegen die Einflüsse der Luftwärme ganz indifferent. Dass die *Regelation* (S. 292) die Bewegung des Gletschers fördert und im Gange erhalten hilft, kann man *W. Thomson* gewiss zugeben, wenn man auch in diesem Vorgange nicht die eigentliche Bewegungsursache erblickt; das teilweise und örtlich verflüssigte Eis bleibt nicht tropfbares Wasser, sondern es tritt unverzüglich der Prozess des Wiedergefrierens ein, und da hiemit nach unten zu eine Druckverminderung gegeben ist, so kann das weiter oben befindliche Eis leichter nachrücken. Die Regelation

Geschwindigkeit des Gletschers soll von dessen Länge unabhängig sein, sie soll dem Sinus des mittleren Neigungswinkels proportional wachsen, und in dem Masse, in welchem der Querschnitt grösser wird, soll auch die Geschwindigkeit des Fortrückens zunehmen.

[1]) Von einer dickflüssigen Masse ist eine zähflüssige, wie Honig u. dgl., wohl zu unterscheiden. Eine solche ist auch gegen Zug einigermassen nachgiebig, es lassen sich aus ihr Fäden ziehen, während beim Gletschereise hievon keine Rede sein kann.

erhöht die Umformungsfähigkeit des Gletscherkornes, und in dessen Volumenzunahme liegt der wahre Schlüssel zu dem Rätsel der Gletscherbewegung. Vielleicht erklärt *Buchanan*s oben schon gestreifte Hypothese diese Zunahme und die aus ihr folgende *Tendenz zum Fliessen* am besten. Bei der Erörterung der Verhältnisse, unter welchen sich Eis aus Salzwasser bildet (S. 293), haben wir in Erfahrung gebracht, dass die salzigen Bestandteile sich im Momente des Festwerdens zum überwiegenden Teile abscheiden, und es gilt ein gleiches zweifellos auch für Süsswasser, welches nicht vollkommen rein, sondern mit irgendwelchen fremden Bestandteilen versetzt ist. Das Gletschereis enthält demnach vermutlich auch noch Salzlösungen, welche dahin wirken, dass der Schmelzpunkt herabgedrückt wird. Durch deren Vorhandensein wird also auch erreicht, dass bei sinkender Temperatur allmählich immer mehr Eis sich bildet und das Volumen der Gletscherkörner vermehrt. Fassen wir alles dies zusammen, so dürfte unser augenblicklicher Wissensstand hinsichtlich der Lehre von der Gletscherbewegung etwa dahin zusammengefasst werden:

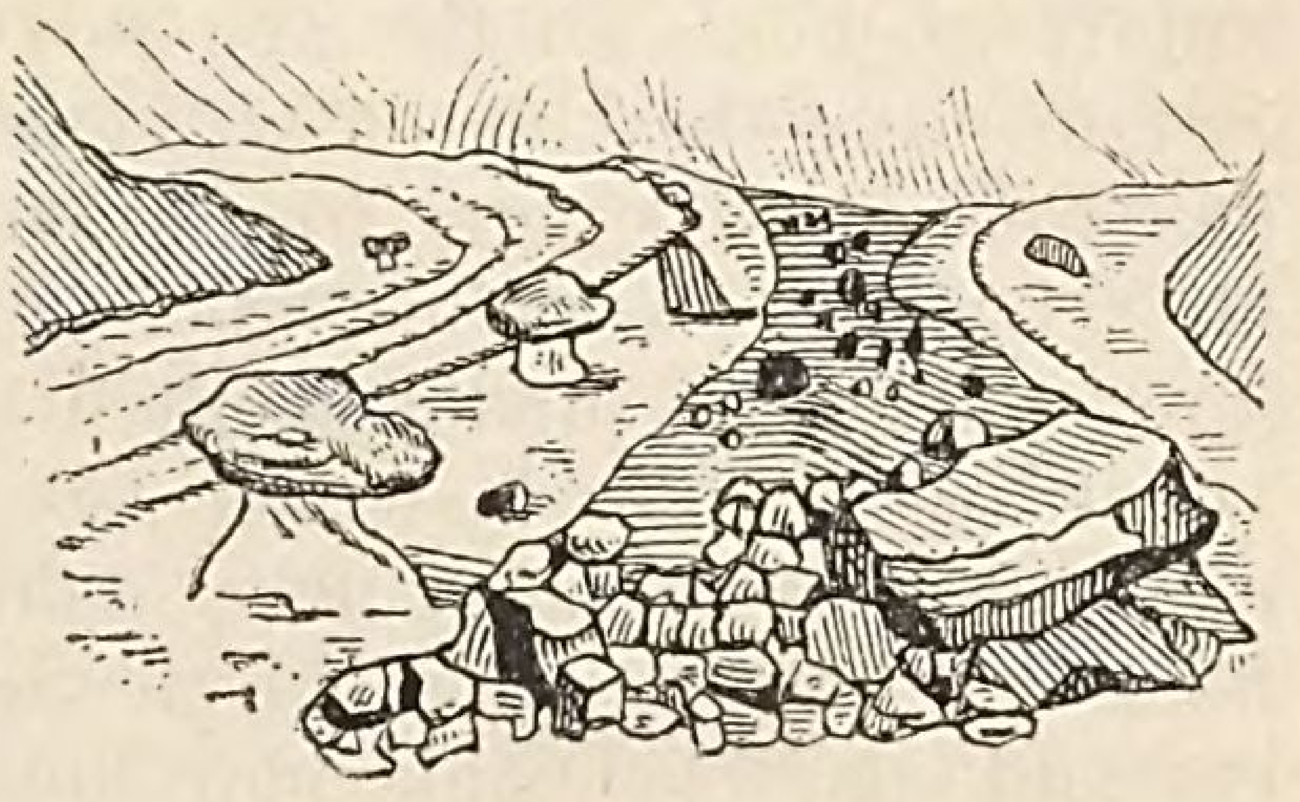
Die erste und wichtigste Ursache, welche das dickflüssige Gletschereis zum langsamen Fliessen bringt, ist die Schwere, der es auch zuzuschreiben ist, dass an der Unterfläche des Gletschers, wo derselbe mit dem Felsgrunde in Kontakt steht, wo also die übrigen Triebkräfte gänzlich fehlen, ein langsameres Gleiten stattfindet. Unterstützt und befördert wird die Bewegung durch die Plastizität des das Molekel der fliessenden Masse darstellenden Gletscherkornes, um welches sich, sein Volumen vermehrend, unausgesetzt neues Schmelzeis bildet, während zugleich die Regelation den Prozess der fortwährenden Verflüssigung und Wiederverfestigung unterstützt und im Gange erhält.

Die Auflösung der Gletscher. Wenn die Gletscherzunge bis zu einer gewissen Tiefe unter dem Firnfelde, aus dem sie ihre Nahrung bezieht, vorgedrungen ist, unterliegt sie der Vernichtung. Ohne Unterbrechung erleidet ja, wie leicht verständlich, die Gletschermasse Substanzverluste durch Schmelzung von oben und von unten, während allerdings die internen Schmelzungen, wie wir eben sahen, wesentlich nur die Arbeit des Fortbewegens leisten helfen. Das zu Wasser verwandelte Eis strömt ab, die *Ablation* ist also fortwährend mit der Vernichtung des Gletschers beschäftigt, allein da, wo die Masse noch grosse Mächtigkeit besitzt, fällt diese nur auf die obersten und untersten Partien sich beschränkende Zerstörung nicht besonders ins Gewicht. Man beobachtet ihre Folgen in den Schmelzwasserrinnen, welche die Oberfläche allseitig durchfurchen, sowie in dem schon erwähnten Gletscherbache, den die obere wie die untere Ablation zu speisen beschäftigt sind, indem das Wasser aus jenen Rinnen durch die meist zahlreichen Ritzen hindurch seinen Weg nach der Gletschersohle findet[1]). Da die Insolation die einzige

[1]) Gar nicht selten begegnet der Gletscherwanderer den bekannten *Gletschermühlen*, welche *Heim* als „Schächte der Schmelzwasserbäche“ be-

Quelle der äusserlichen Ablation ist, so darf man sich nicht wundern, dass letztere eine *tägliche* und eine *jährliche Periode* erkennen lässt [1]). Nur da, wo Felsmassen in grösseren oder kleineren Trümmern die unter ihnen liegenden Eisflächen vor der Einwirkung der Sonnenstrahlen schützen, kann sich die Ablation nicht direkt geltend machen, und wenn dann rings herum das Eis weggeleckt ist, so bleiben die für manche Ferner so charakteristischen *Gletschertische* übrig, Steinblöcke, die auf einem Eisfusse ruhen und sich wie riesige Pilze ausnehmen [2]) (vgl. *Fig. 123*). Fein verteilter Schutt jedoch wirkt nicht in diesem Sinne, sondern befördert den Schmelzakt und sinkt tief in das Eis ein, wie wir dies weiter unten, wenn das grönländische Binneneis zur Besprechung gelangt, an einem augenfälligen, unseren Alpen fehlenden Beispiele bestätigt finden werden.

Fig. 123.



An jener Stelle nun, wo die Gletscherzunge ihr Ende erreicht, ist zwischen den zuführenden und vernichtenden Kräften ein Gleichgewichtszustand eingetreten: *ebensoviel Eis, als in der Zeiteinheit von oben her nachgeschoben wird, ebensoviel wird durch die von einer höheren Lufttemperatur begünstigte Ablation in Wasser verwandelt.* Noch weiter thalabwärts vermag sich also der Gletscher nicht herabzusenken, und wenn der Ort, an dem jener mittlere Zustand erreicht ist, seine Lage nicht wechseln würde, so könnte man jahraus jahrein das Gletscherende als unveränderlich betrachten. Dem ist jedoch nicht so, vielmehr unterliegt die Gesamtlänge der Gletscher sehr beträchtlichen Veränderungen, welche eine besondere Betrachtung unabweisbar machen. Dabei soll es sich ausschliesslich um langsame und kontinuierlich erfolgende Veränderungen handeln, wogegen jähe Katastrophen, durch welche gelegentlich einmal die Zerstörung eines Gletscherteiles erfolgt, wie z. B. der

zeichnet. Sie verschieben sich mit dem selbst bewegten Eise nach unten und machen sich oft nicht durch eine breite Spalte, sondern allein durch den gurgelnden Ton des interglazialen Wasserfalles bemerkbar.

[1]) Auch an den Flüssen, welche Gletscherwasser in sich aufnehmen, macht sich die tägliche Periode durch *kleine Ueberschwemmungen* gelegentlich geltend. Am *Rio Diamante* in Chile tritt immer, wie *Güssfeldt* erwähnt, ein auffallend breiter Streifen durchnässten Bodens längs der Flussufer hervor; ihn erzeugt eine Art von Ebbe und Flut, welche durch das vom Sonnenstande abhängige Schmelzen des Eises und Schnees in den „Büsserfeldern" (S. 378) bewirkt wird.

[2]) *Neumayr* betont, dass die Gletschertische nicht stabil verbleiben, sondern ganz unabhängig von dem allgemeinen Fortrücken des Eises noch ihre eigene Bewegung besitzen. Der Block stürzt, wenn sein Fuss endlich doch zu dünn wird, herab, fällt nach vorwärts und gibt so an einer anderen, wiewohl benachbarten Stelle den Anlass zur Entstehung eines Tisches.

Einsturz des Gletscherthores (S. 376) u. s. w., hier übergangen werden [1]).

Vorstoss und Rückgang der Gletscher. Seit langen Jahren weiss man, dass neben jener direkten Bewegung des Gletschereises eine zweite *alternierende Bewegung der Gesamtgletscher von periodischem* Charakter einhergeht. Die Gletscherzunge dringt während einer Reihe von Jahren immer weiter in das angrenzende Tief- oder Flachland hinein vor; alsdann tritt eine relative Ruhe ein, und darauf wieder beginnt ein Rückzug, durch welchen weite früher vom Eise bedeckte Strecken entblösst werden. Bei fast allen Gletschern kann man, wenn nur ein hinreichend langer Zeitraum zur Verfügung steht, dahin zielende Wahrnehmungen machen, doch gibt es solche, die sich durch die Rapidität ihrer Streckungs- und Kontraktionsbewegung auszeichnen, wie der *Hochvernagt-Gletscher* im oberen Oetzthale und der *Defdoraki-Gletscher* im Kaukasus, über welch letzteren *Schwalbe* nähere Mitteilungen gemacht hat. Seit 1825 hält man den Vernagt-Ferner unter steter Kontrolle und ermittelte, dass er von jener Epoche an langsam zurückging, dann plötzlich innehielt und von 1840 an mit grosser Energie das früher verlassene Terrain wieder in Besitz nahm; acht Jahre später konnte man eine bedeutende Verlangsamung des Vorstosses und ein allmähliches Stehenbleiben konstatieren, und seitdem ist der Gletscher mehr und mehr geschwunden [2]), während mit dem Jahre 1890 allerdings das Ende dieser regressiven Bewegung gekommen zu sein scheint. Die Periode des Vorrückens ist demgemäss — und ältere Aufzeichnungen der Chronisten des Oetzthales stimmen damit in der Hauptsache überein — etwa bloss den fünften Teil so lang, wie diejenige des Rückganges.

Forel hält dafür, dass, wenn die Niederschläge in der Höhe

[1]) Zu den am meisten gefürchteten Ereignissen im Hochgebirge gehört der Durchbruch sogenannter *Gletscherseen*, denn die Wirkung ist in diesem Falle natürlich genau dieselbe, wie wenn eine Thalsperre (S. 366) das von ihr aufgestaute Wasser nicht mehr zurückzuhalten vermag. Die grossen Verwüstungen im Oetzthale, welche *Finsterwalder* chronologisch verfolgte, sind regelmässig auf den Durchbruch des Hochvernagt-Sees zurückzuführen, und eine gleiche Veranlassung hat in den letzten Jahren schwere Ueberschwemmungen im Martellthale, das vom Vintschgau zur Ortlergruppe hinaufzieht, zur Folge gehabt. Dieselben haben *Richter* und *Finsterwalder* bestimmt, an Ort und Stelle die Sachlage zu ergründen und Mittel zur Verhütung ähnlicher Vorfälle vorzuschlagen. Dabei wird die sonderbarerweise nicht bloss im Volksmunde, sondern auch in der Litteratur zu findende Behauptung widerlegt, das ausgeströmte Wasser stamme aus *Gletscherstuben*, Wasseransammlungen im Inneren der an einer schwachen Stelle berstenden Eismasse. Es wird vielmehr ganz einfach das Wasser von Bächen durch eine sich vorlagernde Gletscherzunge zum See aufgestaut (s. u. in Abschnitt XVII), und da nach *Charpentiers* im grossen Stile unternommenen Versuchen weder Eissprengungen noch die Eintreibung eines Kanales sichere Abhilfe versprechen, so empfiehlt es sich, das wärmere Bachwasser in den Eisriegel hineinzuleiten, wodurch dessen langsame Abschmelzung bewirkt wird.

[2]) Von der Rofenstrasse aus war 1880 nur ein winziges Stück des Gletschers noch sichtbar.

der Firnmulde ausgiebiger werden, eine Vergrösserung desjenigen Querschnittes eintritt, von welchem aus nach unten zu der eigentliche Gletscher zu rechnen ist. Mit dem Querschnitte wächst die Geschwindigkeit der gewöhnlichen Gletscherbewegung, und da die Ablation innerhalb einer gegebenen Frist einer schneller bewegten Masse, einer Masse also, in deren oberflächlichen Bestandteilen stets für rasche Ergänzung des Schmelzverlustes gesorgt ist, weniger als einer langsam bewegten zuzusetzen vermag, so kann die Gletscherzunge über diejenige Grenze hinaus sich vorschieben, welche ihr in regenärmeren, für ergiebige Speisung des Firnfeldes minder günstigen Jahren gezogen war. Manches hat mit dieser Auffassung des Prozesses diejenige gemein, welche *E. Richter* sich gebildet hat, und welche uns darin sehr das richtige zu treffen scheint, dass sie das Vorrücken des ersten vergrösserten Querschnittes nicht sowohl als ein stetiges, sondern vielmehr *als ein nach den Gesetzen des Stosshebers* (S. 345) *erfolgendes ruckweises* betrachtet. Wenn die vermehrte Feuchtigkeitszufuhr in der Nahrungsmulde des Gletschers es dahin gebracht hat, dass eine Masse von grösserer Breite in den eigentlichen Gletscherkanal eintritt, so kann diese Masse nicht ohne weiteres sich den von ihr vorgefundenen Bewegungsverhältnissen anpassen; sie hat Hindernisse zu überwinden, und das kann nicht anders als stossweise geschehen. Man sieht, dass beide Forscher, die sich mit der Ursache der sogenannten *Gletscherschwankungen* beschäftigt haben, völlig in der Annahme veränderter meteorologischer Zustände als des eigentlichen *Agens* übereinkommen; die Ansicht *v. Freys*, dass das Phänomen auch dann sich zeigen würde, wenn die Schnee-, Firn- und Eiszustände immer unverändert dieselben blieben, scheint sich weitere Anhänger noch nicht erworben zu haben.

Die klimatologische Forschung hatte somit die Aufgabe erhalten, an der bezeichneten Stelle einzusetzen, und dieser Aufforderung hat sie sich auch nicht entzogen. Zumal *C. Lang* hat sich das Verdienst erworben, die Niederschlagsmengen alpiner Orte für längere Zeiträume zu prüfen. Eine sehr einfache Aufgabe war dies deshalb nicht, weil von Hochstationen nur erst wenige Ergebnisse vorliegen, und weil nach *Erks* Vergleichungen die Kurven, welche die Jahresperiode der atmosphärischen Ausscheidungen in verschiedenen Höhen über dem Meere darstellen, keineswegs parallel verlaufen. Wohl aber besteht ein angenäherter Parallelismus für die Jahressummen der Niederschläge, und wenn insbesondere für Orte, welche gleichmässig an der Nord- und an der Südseite einer Hochgebirgskette verteilt liegen, eine gewisse Homologie der jene Summen graphisch ausdrückenden Kurven besteht, so darf wohl auch für die zwischenliegenden Berglandschaften eine gleiche Homologie als wahrscheinlich gelten. Gestützt auf ein ziemlich reichhaltiges Zahlenmaterial sah sich *Lang* so in die Lage versetzt, eine die Ansichten von *Forel* und *Richter* bestätigende Aufklärung über den Wechsel verschiedener Zeiträume von ähnlichem klimatischem Gepräge zu geben[1]):

[1]) Man wird vonvornherein erwarten dürfen, dass sich die hier beschriebene Periodizität der Jahrestypen aus jener ableiten lasse, welche von

Feuchtkühle und trockenwarme Perioden wechseln mit einander ab. Auf eine Jahresreihe von ausgesprochener Tendenz zu Regen- und Schneefall folgt ein Vorstoss, auf eine Jahresreihe von entgegengesetztem Charakter folgt ein Rückzug der Gletscher[1].

Wenn diese Thatsache, wie es sehr wahrscheinlich ist, nicht nur im Gebiete unserer Alpen, für welches sie nur zuerst erkannt ward, sondern ganz allgemein zu Recht besteht, so lässt sich daraus ein weiterer, sehr wichtiger Schluss ziehen:

Die analogen Bewegungsstadien verschiedener Gletscher müssen einen von ihrer geographischen Lage unabhängigen Synchronismus bethätigen, wenn auch örtliche Verhältnisse verzögernd oder beschleunigend mit eingreifen mögen.

Diese Konsequenz wird nun anscheinend durch die Beobachtungen vollauf bestätigt. Seit 1886 sind, *Forel*s Uebersichten zufolge, vierzig bekanntere Gletscher im Wachsen, fünf weitere im Vorbereitungszustande dazu[2]. Die *Pasterze* allerdings hatte 1888, als *Seeland* sie besichtigte, noch eine retrograde Bewegung, allein da in dieser seit dem vorhergegangenen Jahre schon eine bemerkbare Verlangsamung eingetreten war, so darf auch diesmal die schliessliche Unterordnung unter obige Regel angenommen werden. Gleicherweise scheint im Ortlergebiete allenthalben jener Stillstand zur Zeit eingetreten zu sein, welcher von einem erst langsameren, dann aber immer lebhafter werdenden Vordringen des Eises abgelöst wird.

Moränen. Der Gletscher selbst wird nicht vollkommen richtig gewürdigt, wenn man nicht auch der Beziehungen gedenkt, in welche er zu den ihn umgebenden und ihn unterteufenden Gesteinsmassen tritt. Ihren sichtbaren Ausdruck finden diese Beziehungen in den sogenannten *Moränen*. Sie fehlen schon, worauf *Ratzel* unsere Aufmerksamkeit lenkt, den Firnansammlungen (S. 371) nicht; Ablagerungen von feinerem Schutt und Grus liegen, wie ein kleiner Wall, an der Zunge vieler Firnflecke, allein da die Bewegung letzterer eine sehr langsame ist, so bleiben die einzelnen Fremdkörper genau in der Lage, welche sie von Anfang an erhalten hatten; Firnfelder sind bloss *Ansammler*, nicht aber auch zugleich *Beförderer* der Schuttmassen. Umsomehr können auf solche Bezeichnung die wirklichen Gletscher anspruch erheben.

Brückner (S. 271) für die klimatischen Aenderungen überhaupt ermittelt worden ist.

[1]) Hiebei ist zu bedenken, dass diese Aenderungen nicht sprungweise, sondern nur in langsamen Uebergängen sich vollziehen, und zudem tritt auch niemals in der Natur eine Wirkung sofort ein, wenn die ursächlichen Faktoren sich entsprechend zusammengefunden haben. Die erwärmende Aktion der Sonnenstrahlen ist in der Mittagsstunde die grösste, und doch dauert es noch 1 bis 2 Stunden, bis auch die Lufttemperatur sich zu ihrem Maximum erhoben hat.

[2]) Von diesen vierzig waren, nach *Marinelli*, erst zwölf im Jahre 1884 progressiv, und ihnen schlossen sich 1885 fünfundzwanzig weitere an, so dass also die Umkehr ersichtlich immer entschiedener zum Ausdrucke kommt.

Erst seit *Venetz* und *Charpentier* kann von einer bewussten und planmässigen Erforschung der von den Fernern in irgend einer Weise mit fortgeführten Schutthaufen gesprochen werden, und erst nach und nach hat man diese wissenschaftlich zu klassifizieren gelernt. Zunächst fallen die *Seitenmoränen* ins Auge, die man früher gewöhnlich *Gufferlinien* nannte, Streifen, die sich nahe der beiden Ufer des Gletschers über dessen ganze Fläche hinziehen und von den an den Abhängen der einschliessenden Berge hinabrollenden Trümmerstücken gebildet werden. Je mehr der anstehende Fels zur Verwitterung geneigt ist, umso mehr Fragmente häufen sich in den Seitenmoränen auf, die auch nach unten zu immer mächtiger zu werden pflegen. Bleiben die Steine und Schutttrümmer, ohne zum Gletscher selbst zu gelangen, noch auf den Gehängen liegen, so bildet sich eine *Ufermoräne*. Mit den Seitenmoränen hängen die *Mittelmoränen* aufs engste zusammen. Wenn nämlich zwei Gletscher aus Seitenthälern herabsteigen und sich am Punkte der Gabelung zu einem Hauptgletscher vereinigen, so führen die rechte Lateralmoräne des rechten und die linke des linken Nebengletschers (von oben gesehen) ihr Dasein als Seitenmoränen ohne Veränderung fort, während bezüglich die linke und rechte Lateralmoräne etwas unterhalb des Scheidepunktes zu einer grösseren Moräne zusammenwachsen, welche ungefähr in der Mittellinie des vereinigten Gletschers verläuft, ihren Namen also mit vollem Rechte trägt. Ein aus $(n+1)$ Einzelströmen kombinierter Hauptgletscher wird im allgemeinen n Mittelmoränen aufweisen.

Seiten- wie Mittelmoränen bewahren die ihnen auf dem einen oder anderen Wege einverleibten Felsüberreste ganz in ihrem ursprünglichen Zustande auf. Das Material besteht, um mit *Heim* zu reden, *aus Trümmern aller Dimensionen, vom feinen Verwitterungsschlamm und Sand bis zu den gewaltigsten Blöcken.* Diese letzteren haben sich nur wenig an einander abgerieben, da ihre gegenseitige Lage, wenn es nicht gerade zur Bildung von Gletschertischen kommt, ganz unverändert bleibt; Ecken und Kanten sind scharf geblieben, nur selten unmerklich abgerundet. So unterscheiden sich morphologisch Seiten-, Ufer- und Mittelmoränen sehr scharf von den nunmehr zu besprechenden Grundmoränen.

Die *Grundmoräne* bildet sich an der Sohle des Gletschers, *zwischen dem Felsgrunde und der sich darüber fortwälzenden Eismasse. Agassiz* und *Martins* haben diese Moränenform gekannt und beschrieben, aber erst durch die in den beiden folgenden Abschnitten zu erörternden Forschungen der Glazialgeologen, an erster Stelle *Penck*s, hat man über die Bedeutung der Grundmoräne volle Klarheit bekommen. Auf ihre Existenz konnte man sich schon durch die Beschaffenheit des Gletscherbaches (S. 376) hinweisen lassen, der zumeist sehr trübe Färbung hat (*Gletschermilch*) und fein zerriebene Erd- und Steinbestandteile mit sich führt[1]). Die Grund-

[1]) Man darf übrigens nicht glauben, dass deshalb, weil der Gletscherbach dieses trübe Wasser führt, seine Gerölle- und Geschiebeführung viel be-

moräne kommt dadurch zustande, dass der Gletscher selbst den Felsgrund abschleift und aufarbeitet, wobei freilich hinsichtlich des *Grades* der Abnützung die Meinungen weit aus einander gehen (s. u. im folgenden Abschnitte), sowie dadurch, dass oberflächliche Steinbrocken, welche vorher der Mittel- oder einer Seitenmoräne angehörten, durch Spalten und Mühlen unter den Gletscher geraten und nun auch allmählich verkleinert und thalabwärts transportiert werden.

Gegen das untere Ende hin beginnen sich Materialien der Grundmoräne und je einer der beiden Seitenmoränen mit einander zu vermengen; an den Rändern, wo die Eisdicke minder beträchtlich ist, sinken die schwereren Bestandteile der letzteren durch die bei immer steigender Ablation immer dünner werdende Eisschicht hindurch und kommen so unmittelbar auf die Grundmoräne zu liegen. Die Mittelmoräne schiebt sich noch etwas weiter nach unten vor, allein zuletzt verlässt auch sie das abschmelzende Eis, *und es bildet sich so um das Gletscherende herum eine konvex nach aussen (unten) gekrümmte Erhöhung, deren Bestandteile sich aus solchen aller der drei uns bekannten Gattungen von Moränen zusammensetzen.* Diese Erhöhungen, welche man *Endmoränen* oder *Stirnwälle* nennt, können nach *Heim* eine Höhe von 30 bis 50 m, ja sogar von 100 m erreichen. Sie werden uns später wieder begegnen, da ihr Auftreten einen der sichersten Fingerzeige dafür an die Hand gibt, dass eine im Augenblicke eisfreie Oertlichkeit dereinst einmal unter einem Gletscher begraben lag.

Die Eiszeit. Kriterien dieser und ähnlicher Art, wie sie erst im Zusammenhange mit anderen morphologischen Fragen diskutiert werden sollen, haben uns zu der Ueberzeugung verholfen, dass es Zeiten in der Geschichte der Erde gab, zu denen das Gletscherphänomen eine ungleich grossartigere Entfaltung besass, als sie ihm in der Jetztzeit eignet. Seit den vierziger Jahren ist diese Ueberzeugung immer allgemeiner durchgedrungen; niemand zweifelt mehr an der Realität einer *Eiszeit*, wie *Schimper* mit glücklichem Griffe diese Epoche genannt hat. Ja man glaubt sogar beweisen zu können, dass diese Eiszeit keine einheitliche war, sondern dass sich zwischen *Perioden ausgedehntester Vergletscherung* Intervalle, *Interglazialzeiten*, einschoben, während deren der Umfang der Uebereisung wieder auf ein bescheidenes Mass zurückgegangen

deutender sei, als diejenige anderer Gewässer; das Gegenteil hievon ist durch *Heim* nachgewiesen worden. Nur durch die feine Zerteilung der Festkörper, indem zwischen den geschlämmten Sand- und Erdmassen das flüssige Wasser fast verschwindet, ist jene optische Wirkung bedingt. Infolge seiner Seichtheit und seiner Vermischung mit der Endmoräne bekundet jedoch der Gletscherbach eine ausgesprochene Neigung zur Bildung von Alluvionen, welche, je kleiner ersterer ist, eine um so unverkennbarere Aehnlichkeit mit den Schuttkegeln der Wildbäche (S. 357) hervortreten lassen. Man kann dann alle Uebergänge von der Beschaffenheit der Grundmoräne — fein verteilte, ungeschichtete, strukturlose Masse — bis zu derjenigen der gewöhnlichen Flussablagerungen beobachten.

war (vgl. u. a. S. 89). Die hiefür beizubringenden Argumente wie nicht minder die Frage, von welchen Orten das eine bestimmte Gegend überdeckende Eis hergekommen war, treten für uns vorläufig noch zurück, und wir stellen einzig diese Frage: *Vorausgesetzt, dass die geologischen Angaben über die Eiszeit resp. über deren mehrmalige Wiederholung zutreffend sind, wie lässt sich eine anscheinend so tief gehende Umgestaltung des Klimas erklären, wie sie zur Herbeiführung derartiger Zustände sich ereignet haben muss?*

Diese Frage selbst hat wiederum einen doppelten Inhalt. Erstlich sind die Bedingungen für eine so aussergewöhnlich starke Firn- und Eisbildung *rein tellurisch* aufzusuchen, und weiterhin lässt sich daran eine Erwägung darüber knüpfen, ob vielleicht *kosmische Ursachen* bei der Herbeiführung jener Bedingungen beteiligt waren. Die eigentliche Eiszeit fiel, wenn wir von der nur hypothetisch gefolgerten in der Karbonzeit absehen, in den Anfang der Quartärzeit, so dass die Worte *Eiszeit* und *Diluvialperiode* recht wohl als gleichbedeutend angenommen werden können. Am Ausgang der Pliozänzeit war, wie die aus ihr stammenden pflanzlichen Ueberreste darthun, die Klimaverteilung auf der Erde von der gegenwärtig obwaltenden kaum merklich verschieden. Nichts spricht dafür, dass nun mit einem male eine starke Temperaturherabsetzung eingetreten wäre; wenn man aus den vorhandenen indirekten Kennzeichen, so z. B. aus den seit dem Ende der Eiszeit eingetretenen Verschiebungen der Schneegrenze (S. 368), auf die damaligen Temperaturverhältnisse schliesst, so kommt man zu dem Resultate, *dass damals das Klima nicht sehr beträchtlich schlimmer als jetzt, die Mitteltemperatur eines Ortes vielleicht 3 bis 4 Grade niedriger als in der Gegenwart war.* Nicht die Wärmeverhältnisse also, das geht aus den Arbeiten von *Woeikow, Neumayr, Brückner* hervor, haben das Wachstum der Gletscher bewirkt, sondern die *anomalen Feuchtigkeitsverhältnisse.* Wenn die Luft sehr feucht, mit Wasserdampf ganz oder nahezu gesättigt ist (S. 212), so führen an sich unerhebliche Temperaturdepressionen zu starkem Schneefalle, und dass nur eine ausserordentlich starke Ueberfüllung des Firnbehälters mit Schnee ein rapides Fortschreiten der Gletscher bedingen kann, ist uns durch unsere Studien über Gletscherbewegung zur Gewissheit geworden.

Man darf deshalb wohl vermuten, dass auch in der älteren Quartärzeit einfach Perioden des Gletschervorstosses mit solchen des Gletscherrückganges wechselten, *nur dass die Areale, um welche die Gletscher während der einen und anderen Periode differierten, damals ganz unverhältnismässig grösser waren, als sie es heute sind.* Heute beträgt das Gebiet, welches ein bestimmter Gletscher bald in anspruch nimmt, bald wieder frei gibt, einige Quadratkilometer; in der Eiszeit erfüllte es hunderte. Was wir Eiszeit nennen, war also nur eine schneereiche Jahresreihe mit dem naturgemässen Gefolge einer das ganze angrenzende Flachland in ihr Bereich ziehenden Vergletscherung, und wenn dann in der Luft die Neigung zur Schneebildung abnahm, so wichen auch die Gletscher zurück, und es trat

eine interglaziale Epoche ein. *Zwei* solche Zwischenfristen dürfen als sichergestellt gelten, doch glauben *Penck* und *Brückner* geologische Gründe dafür zu haben, dass ein solches Interregnum zwischen der strengen Herrschaft der Gletscher sogar *dreimal* eingetreten sei.

Brückner hat alle Nachrichten über frühquartäre Seespiegelschwankungen gesammelt und so gefunden[1]), dass auch bei den abflusslosen Seen des Diluvialzeitalters ganz ähnliche Verschiebungen des Niveaus von periodischem Charakter im Gange gewesen sein müssen[2]), wie er solche für jene auch in der geschichtlichen Zeit erkannt hat. Wir legen dabei weniger Gewicht darauf, ob wirklich eine analoge 35jährige Periode damals schon den Regulator dieser Oszillationen abgegeben habe, sondern wir begnügen uns mit der wichtigen Thatsache: *Die Uebereisung der heute eisfreien Länder während der diluvialen Epoche trägt deutlich periodischen Charakter, und die Wahrscheinlichkeit, dass es sich so verhalte, wird durch die — wenn auch noch einigermassen problematische — Entdeckung einer karbonischen Eiszeit noch vermehrt.*

Dann aber ist allerdings die Möglichkeit, dass kosmische Vorgänge bestimmend für eine immerhin tief eingreifende Metamorphose des Klimas gewesen seien, sehr in die Nähe gerückt, und in der That ist die Anzahl der zu diesem Zwecke ersonnenen Hypothesen Legion. Nur die bekannteren können wir auswählen, um sie einer kurzen Besprechung zu unterziehen. Schon vor nahe hundert Jahren trat ein deutscher Mathematiker, namens *Rohde*, dafür ein, dass es infolge der starken Schwankungen, denen die *Exzentrizität der Erdbahn* ausgesetzt ist, *Jahreszeiten höherer Ordnung*, d. h. lange Perioden von abweichendem klimatischem Charakter, geben müsse. Es ist nicht zu leugnen, dass dann, wenn die fragliche Ellipse von einem Kreise sehr stark abweicht, jene Halbkugel der Erde, welche ihren Winter zur Zeit der Sonnenferne hat, weit ungünstigere Besonnungsverhältnisse, also einen strengeren Winter haben muss, als die andere, und durch Kumulativwirkung sollte aus diesen Ursachen, die man auch noch mit der in nicht sehr weiten Grenzen *variablen Schiefe der Ekliptik* kombinierte, die Eiszeit entspringen. *Adhémar* dachte sich, dass um den Pol der gerade benachteiligten Hemisphäre herum eine gigantische Eishaube entstehen werde, deren Massenwirkung

[1]) Aus einer erst nach *Brückners* Veröffentlichungen bekannt gewordenen Arbeit von *Sjögren* ergibt sich, was ersteren zu einer wertvollen Bekräftigung dient, eine doppelte Vereisung für die Gegend zwischen Kaspischem und Aral-See.

[2]) Mustergiltig für diese schwierigen Untersuchungen sind jene, welche *Russell* und *K. Gilbert* an den abflusslosen Wasserbehältern Nordamerikas angestellt haben. Man hat wesentlich auf die verschiedenen Sedimentbildungen zu achten; zu unterst bemerkt man den Niederschlag eines alten Sees, darüber folgt eine Lage unverkennbarer Fluss- oder Bachreste, und im Hangenden treten junglakustre Schichten zu tage. Zwischen zwei den eigentlichen Eisperioden entsprechende Straten schiebt sich mithin eine in der Interglazialzeit entstandene Zwischenschicht ein, innerhalb deren fliessendes Wasser den früheren Seeboden durchströmte und auf demselben sein Gerölle ablagerte. Die beiden amerikanischen Gelehrten meinen, dass in der Zwischenzeit die Seen auf ein Minimum reduziert oder ganz verschwunden gewesen seien.

den Schwerpunkt der Erde verlegen und sowohl ein Abströmen der Erdgewässer nach der glazialen Seite als auch eben dadurch neue Vereisung bewirken sollte. Von der Attraktion der Eiskalotte sah *Croll* ab, während er im übrigen aus der Vergletscherung der einen Erdhalbkugel eine veränderte Verteilung von Land und Wasser und namentlich eine tief greifende Umsetzung der Meeresströmungen herleitete. *Schmick* endlich legte wenig Gewicht auf die variierende Besonnung, umso mehr darauf, dass, wenn die Erdbahn sich einem Kreise nähert, die Erde allenthalben ziemlich gleich stark von der Sonne angezogen wird, dass dagegen, wenn unser Planet eine stark exzentrische Ellipse beschreibt, die Anziehung für das Aphelium sich sehr viel geringer als für das Perihelium gestalten muss; so müsse ein abwechselndes Ueberfluten einer bestimmten Halbkugel sich ereignen. Die letztgenannte Hypothese leidet an dem Grundfehler, dass sie den Unterschied der Maximalhöhen von Zenit- und Nadirflut (S. 305) ganz ungeheuer überschätzt.

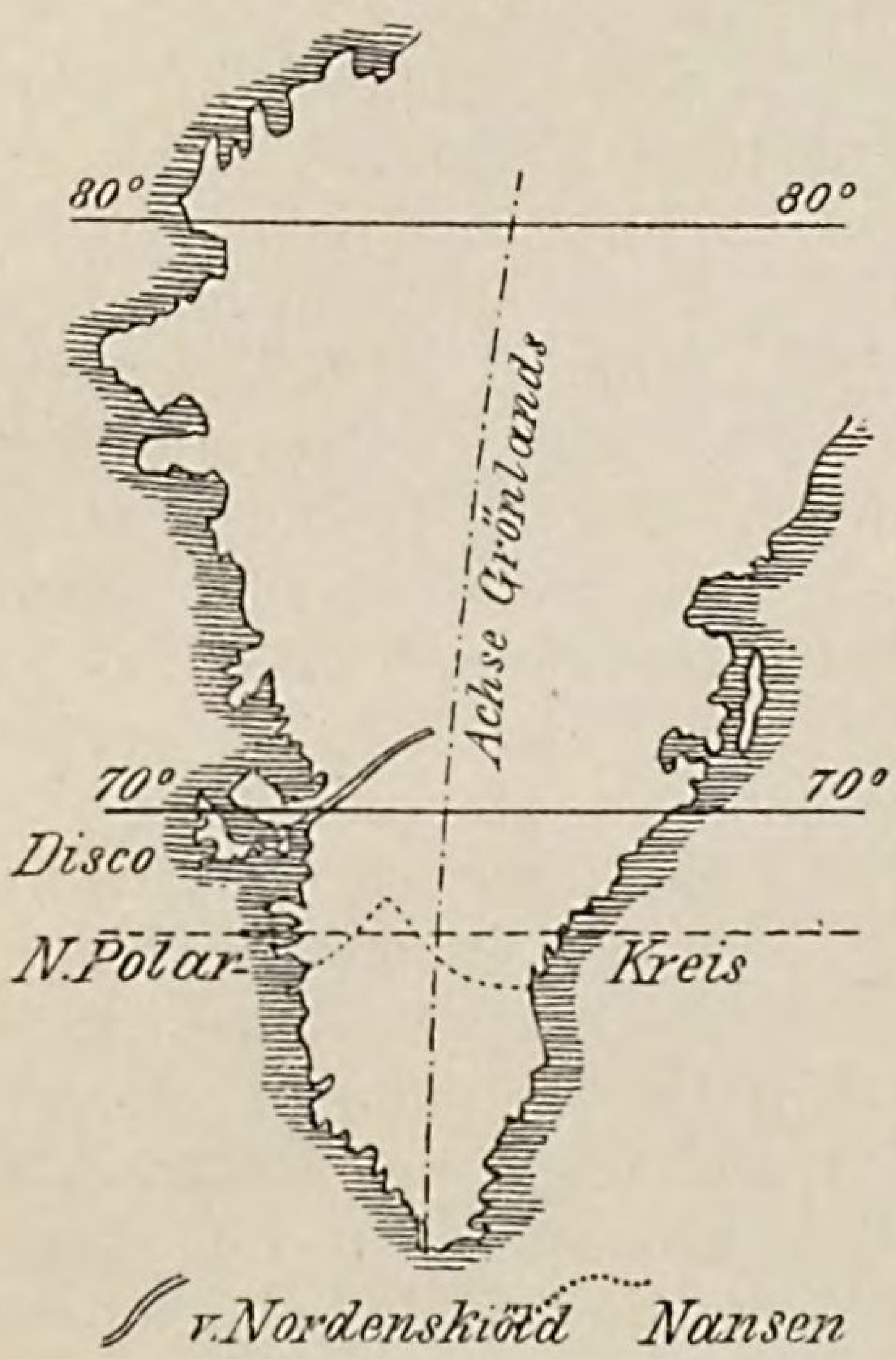
Die Gesamtsumme der Wärmemengen, welche die Erde während eines vollen Umlaufes von der Sonne empfängt, ist nach *Bells* Rechnungen unabhängig von der Exzentrizität, doch um so entschiedener ändert sich mit ihr die Wärmeverteilung. *Bell* ist der Ansicht, dass die Eiszeit wesentlich die Folge überaus kontinentaler Klimate der in frage kommenden Halbkugel gewesen sei. Wie dem auch sei, alle diese in ihrer Grundlage übereinstimmenden Theorien gewährleisten auch eine regelmässige Wiederkehr einer für das Eintreten von Vergletscherungszeiten günstigen Konstellation: *ihnen zufolge ist die Eiszeit ein periodisches, alternierend für die eine und andere Erdhalbkugel in messbaren Intervallen wiederkehrendes Phänomen*, wogegen allerdings die neuerdings von französischen Geologen, von *Saporta* und *Falsan*, vertretene Auffassung, welche terrestrische und kosmische Motive zusammenwirken lässt, eine solche Wiederkehr nicht begünstigt[1]).

Die Verhältnisse des Binneneises. Die Eiszeit ist nicht gänzlich geschwunden, sie hat vielmehr stattliche Spuren zurückgelassen, so dass wir noch heutzutage uns ein völlig zutreffendes Urteil darüber bilden können, wie es während des Diluviums in

[1]) Als erste Ursache gilt die angebliche *progressive Verkleinerung des Sonnendurchmessers*, also eine astronomische Erscheinung, die, obwohl von *Maskelyne* seiner Zeit behauptet, doch keineswegs als bewiesen gelten kann, von manchen Seiten sogar direkt bestritten wird. Aber selbst wenn wir sie, und mit ihr die wiederum nicht notwendig daraus folgende Verminderung der solaren Wärmevorräte zugestehen, sehen wir doch noch nicht ab, warum die Eiszeit ein Ende genommen, warum sie nicht mit stets gesteigerter Energie bis zum heutigen Tage fortgedauert hat. Dies zu erklären, griff man auf einen Gedanken zurück, welchen schon die schweizerischen Glazialforscher der älteren Zeit ausgesprochen hatten: *die fortschreitende Denudation soll die Höhe der Gebirge um ein beträchtliches vermindert und so auch die frühere Vergletscherung wieder bedeutend eingeschränkt haben.* Umgekehrt sind die deutschen Geologen der Meinung, dass seit der Eiszeit gar keine grösseren Aenderungen in den Höhenverhältnissen sich ereignet haben können.

einem sehr grossen Teile von Europa ausgesehen haben muss. In Alaska hat *Dall*, allerdings grossenteils von Erde und Geröllmassen überlagert, Eismassen von gewaltiger Mächtigkeit angetroffen, in denen wir die Ueberreste der Eispanzerung anzuerkennen haben, welche sich ehemals über der genannten Halbinsel wölbte. Noch wichtiger jedoch ist die Insel *Grönland,* welche, von einem schmalen Streifen an der Westküste und einem noch schmaleren Streifen an der Ostküste abgesehen, als *eine zusammenhängende, kompakte Eismasse* betrachtet werden muss. Freilich hatten schon seit Jahrzehnten die Polarreisenden, *Kane, Hayes, J. Hall* u. a., berichtet, dass, wo sie auch immer von einem erhabenen Punkte aus einen Einblick in das Innere von Grönland gewonnen, dieses stets sich als der „grosse Gletscher" *(Sermik Soak)* der Eingeborenen dem Auge dargestellt hätte, allein weitere Kreise vermochten sich an diese scheinbar unmögliches fordernde Vorstellung nicht zu gewöhnen, und bis vor kurzem klammerte man sich an der Vermutung fest, es möchten doch tiefer landeinwärts noch grössere eisfreie Stellen angetroffen werden. Durch die Expedition *v. Nordenskiölds*, dessen Kundschafter bis nahe an die Achse der Insel gelangten, und noch mehr durch diejenige *Nansens*, dem die erste *vollständige Durchkreuzung* Grönlands gelang — vgl. in *Fig. 124* die Wege beider Reisender —, sind alle Zweifel beseitigt, und es steht fest: *Die Eiszeit herrscht über den weitaus grössten Teil von Grönland mit noch ungeschwächter Kraft.*

Fig. 124.



Welche Konfiguration das Felsgerüste der Insel, die, den an der Küste anstehenden Proben nach zu schliessen, aus uraltem azoischem Fels besteht, eigentlich hat, wissen wir natürlich nicht zu sagen; darüber wölbt sich das *Binnen-* oder *Inlandeis* als eine riesige Decke, deren Dicke in der Mitte jedenfalls einige tausend Meter beträgt. Wenn wir die Andeutungen *Nansens*, des genauesten Kenners der Oertlichkeit, etwas schärfer präzisieren, so können wir die Oberflächenform des Inlandeises etwa folgendermassen bestimmen: ein Kegelmantel, dessen Spitze nördlich von Kap Farewell zu suchen ist, dessen Mittellinie aber etwa mit der Achse der Insel zusammenfällt, begrenzt das Binneneis, und ein senkrecht zur Horizontalebene gelegtes Profil schneidet jenes in einer Ellipse, von der allerdings nur ein kleiner und deshalb ziemlich flacher Bogen oberhalb des Horizontes gelegen ist.

Die *Nordenskiöld*sche Expedition hat über die Naturbeschaffen-

heit des Binneneises grössere Klarheit verbreitet, und wir geben deshalb ihre wichtigsten Ergebnisse hier wieder. Vom Ufer her ansteigend, hat man zuerst die unansehnliche *Randmoräne* [1]) zu überschreiten, worauf es einen gleichmässig geböschten Eisabhang, den ein dünnes Lehmlager bedeckt, und in dem sich viele Spalten finden, hinaufgeht. Die Randzone des Eismantels ist schwer zu passieren; *Gipfeleis*, das sich in steilen, bis zu 20 m hohen Hügelreihen ansammelt, und *Höckereis*, d. h. isolierte niedrige Eisbuckel, zwischen denen sich der Schlittenzug nur mühsam hindurchzuwinden vermag, wechseln mit schalenförmigen Depressionen, deren Mitte nicht selten ein kleiner See einnimmt. In einer Höhe von 11—1200 m über dem Meere nimmt, wenigstens im Sommer, das Territorium der *Schneebreiebenen* seinen Anfang, aus denen vielfach Eisberge ohne alle Schneebedeckung hervorragen, und noch weiter landeinwärts beginnt die wenig Abwechslung bietende *trockene Schneewüste*. Bäche und Flüsse von oft reissendem Laufe hat der Reisende oft genug zu überschreiten, doch gewähren ihm wenigstens die tiefen, in die Eismasse eingeschnittenen Kanäle treffliche Einsichten in die Struktur, in die Schichtung des Eismantels. Von den in der Nachbarschaft der Gletscherwasserfälle beobachteten intermittierenden Springbrunnen haben wir bereits früher (S. 346) Akt zu nehmen gehabt. Nicht vergessen dürfen, wenn von der Morphologie des Inlandeises gesprochen wird, die *Eisdocks* werden, tiefe Einsenkungen von ziemlich regelmässiger parallelepipedischer Gestalt, die gewöhnlich trocken liegen und mutmasslich Zusammenbrüchen im Inneren der Eismasse, tektonischen Störungen des glazialen Gleichgewichtes, ihre Entstehung verdanken. Neben feinem Lehm fand *v. Nordenskiöld* allenthalben auch einen noch viel feiner differenzierten Staub vor, den er *Kroykonit* nennt, und dem er (S. 5) meteorischen, vielleicht sogar kosmischen Ursprung zuschreibt. Die chemisch-mikroskopische Analyse ist bezüglich dieses Mineralstoffes noch nicht zu befriedigenden Aufschlüssen gelangt. Für die Gletscherwanderer erwies derselbe sich insofern nützlich, als überall da, wo er in das Eis durch Schmelzung eingesunken war, kleine zylindrische Hohlräume, mit trefflichem Trinkwasser angefüllt, ausgehöhlt worden waren.

Mit dem eigentlichen Binneneise dürfen, wie *Heim* betont, die von ihm unabhängigen echten Gletscher der grönländischen Küstenzonen nicht verwechselt werden. Von ihnen sind auch (S. 385) einigermassen die Bewegungsverhältnisse bekannt, während diejenigen des paläokrystischen Binneneises noch wenig erforscht sind. Eine durch *E. v. Drygalski* im Auftrage der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin an der Westküste zu begründende Station wird die Mög-

[1]) Ganz ohne Moränen ist auch das zentrale Eis keineswegs. Rand- und Mittelmoränen im eigentlichen Sinne müssen freilich fehlen, weil im allgemeinen keine umgebenden Berge da sind, von denen Trümmer auf die Eisoberfläche herabfallen könnten. Wo aber ein *Nunatak*, eine isolierte Steinkuppe, sein Felshaupt über die Schnee- und Eiswüste erhebt, da finden sich auch Moränen, ja es soll ein Trümmerwall am Rande von „Jensens Nunatak" sogar die Höhe von 125 m über dem Eise erreichen.

lichkeit bieten, sich auch mit diesem wichtigen Elemente näher bekannt zu machen.

Eislöcher und Eishöhlen. Unter *Ventarolen* versteht man Oeffnungen im Gesteine, aus denen ein kalter Luftzug hervordringt. Es kann dies daher rühren, dass sich im Inneren der betreffenden Hohlräume Schnee und Eis auch während der warmen Jahreszeit erhalten hat. Sind wirklich geschlossene, nur durch wenige Kanäle mit der Aussenseite in Verbindung stehende Höhlungen dieser Art vorhanden, so spricht man von *Eishöhlen* oder *Eisgrotten*; wenn aber einfach unter Trümmergestein, das nach allen Seiten von der Luft durchstrichen werden kann, sich Massen von Eis oder verhärtetem Schnee erhalten haben, dann ist die Benennung *Eisgruben, Eislöcher, Eisgerölle* statthaft. Typisch für diese zweite Klasse sind die bekannten Trümmerhalden (Reste eines ehemaligen Bergsturzes) bei Eppan am Fusse des Mendelgebirges. Orte der bezeichneten beiden Arten kommen weit häufiger, als man gewöhnlich glaubt, auf der Erde vor [1]), und im Verhältnis zu dem reichen Materiale, über welches die Forschung gebietet [2]), lässt die theoretische Erkenntnis manches zu wünschen übrig. Die Eislöcher freilich, deren Inneres gut ventiliert ist, werden wohl wesentlich durch die *Verdunstungskälte* in diesem Zustande erhalten; bezüglich der Eishöhlen im engeren Sinne stehen sich jedoch zwei auf ganz verschiedenen Grundlagen aufgebaute Theorien gegenüber. Der einfache Hinweis auf die allerdings nicht zu leugnende, durch *Fig. 125* erhärtete Aehnlichkeit mit den *Tropfsteinhöhlen* [3]) vermag kausal keineswegs zu befriedigen.

Schwalbe geht von der experimentell unter gewissen Umständen festgestellten Thatsache aus, dass Wasser, dessen Temperatur von Hause aus zwischen $+ 4^0$ und 0^0 liegt, beim Durchsickern durch poröses Gestein eine starke, bis zur Ueberkältung sich steigernde Abkühlung erfährt. Unterstützt wird diese Wahrnehmung namentlich durch *Meissners* Versuche über *Wärmetönung*; wenn eine Mischung aus Kieselsäure und Wasser nicht beständig durch Umrührung in Bewegung erhalten wird, erkältet sich die Masse so stark, dass sie bei völliger Ruhe eine Temperatur von -8^0 annehmen kann. Das Sickerwasser, welches beim Durchdringen des Gesteines auch viel-

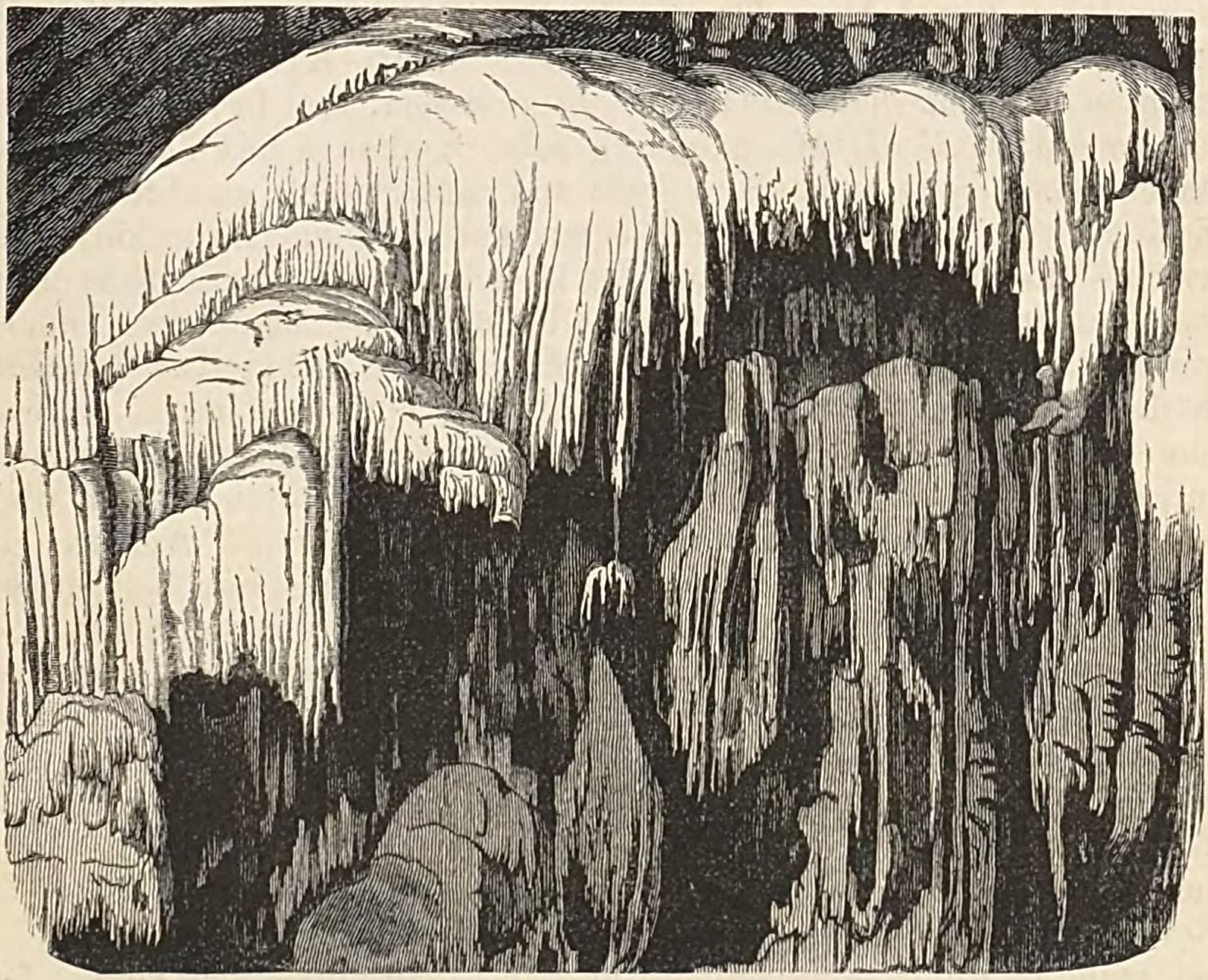
[1]) Den unausgesetzten Bestrebungen *Schwalbes* (Zentralorgan für die Interessen des Realschulwesens, 12. Band; Mitteilungen der Sektion für Höhlenkunde des österr. Touristenklubs, 1887, Nr. 2 und 3) verdankt man ein wohl annähernd lückenloses Verzeichnis aller hier in betracht kommenden Erdstellen.

[2]) *Schwalbes* Statistik führt 129 Eishöhlen, 25 Eislöcher und 35 Ventarolen für die Gesamterde auf. Leider aber fehlt es sehr an konsequent fortgesetzten Temperaturmessungen; solche liegen nur vor für einige Höhlen in den Karpathen (s. u.), für eine Eishöhle im Französischen Jura, welche *Trouillet* mit einem Thermographen versehen hatte, und endlich für die berühmten Eisgrotten des *Untersberges* bei Salzburg, welchen *Fugger* seit Jahren in der aufopferndsten Weise seine Thätigkeit gewidmet hat.

[3]) Oft, so in unserer Figur, sind nur Stalaktiten von Eis (S. 342) entstanden; dass es aber auch zu schöner Stalagmitenbildung kommen kann, das beweist die in dieser Hinsicht sich auszeichnende „Eispinge“ bei Platten im Erzgebirge.

fach Kieselsäure in sich aufgenommen haben wird, tritt also schon mit einer sehr niedrigen Temperatur aus den Wänden der Höhle hervor, und gefriert, sobald es mit der kalten dort herrschenden Luft in Berührung kommt. Lokale Eisverkrustung an den Höhlenwandungen findet so eine ungezwungene Erklärung, während andererseits die vielfach zur Beobachtung gelangten Bodeneisschichten von grösserer Mächtigkeit minder leicht auf überkältet einträufelndes Wasser sich zurückführen lassen zu wollen scheinen. Der Einwurf dagegen, dass diese Anschauung mit einer viel zu grossen Permeabilität der einschliessenden Felsen rechne, scheint mit Rücksicht auf

Fig. 125.



die quantitativen Bestimmungen *Gravé*s (S. 337) minder ernst genommen werden zu dürfen. Auch verdient bemerkt zu werden, dass der beste Kenner der grossen *Dobschauer Eishöhle* in den Karpathen sich im wesentlichen auf den Boden der *Schwalbe*schen Hypothese stellt.

In mancher Hinsicht einfacher ist unleugbar diejenige, welche schon im vorigen Jahrhundert von *Thury* und *Deluc* begründet worden ist und in unserer Zeit in *Fugger* und *E. Richter* eifrige Befürworter gefunden hat. Als massgebend wird die Gestalt der Höhle, sowie deren Lage im Inneren des Berges betrachtet; durchweg senken sich diejenigen Grotten, in denen es zu regelrechter Eisbildung kommt, von einem engen und verhältnismässig hoch gelegenen Eingange aus rasch nach der Tiefe und entbehren des Luft-

durchzuges. Diese Umstände sichern dem Hohlraume eine ziemlich gleichbleibende, niedrige Temperatur. Wenn nämlich die Aussenluft auch wärmer ist, als die abgesperrte Luftmasse, so kann es doch zu keiner lebhafteren Zirkulation kommen, welche letztere aus ihrer Stagnation brächte und lebhafter erwärmte, und wenn umgekehrt kalte, schwere Luft sich über dem Mundstollen lagert, so sinkt dieselbe in das Innere der Höhle ein und trägt dazu bei, die an sich schon tiefe Temperatur noch mehr herabzudrücken [1]). Die oft gehörte Behauptung, dass Eishöhlen im Winter warm, im Sommer kalt zu sein pflegen, ist nichts als eine Fabel, denn die bisher ausgeführten Thermometermessungen haben eine sehr hohe Konstanz der immer kalten Höhlenluft nachgewiesen, und lediglich durch falsche subjektive Empfindung konnte eine solche unrichtige Angabe entstehen und sich längere Zeit unwiderlegt erhalten lassen. Es ist nun leicht ersichtlich, dass Tropfwasser, welches auf irgendwelche Art in die Höhle gelangt, beim Kontakte mit der vorhandenen kalten Luft auch dann gefrieren muss, wenn es nicht zuvor, im Sinne von *Schwalbe*s Lehre, einen selbständigen Ueberkältungsprozess durchgemacht hat, und das so gebildete Eis kann ganz wohl den Sommer überdauern, da die in diesem sich ereignende unmerkliche Wärmesteigerung nur die oberflächlichsten Lamellen der Eiskruste zum Abschmelzen bringt. Nicht vergessen darf werden, dass solche Höhlen, welche ein einigermassen grösseres Mundloch besitzen, und in denen die sommerliche Bodentemperatur über Null steigt, im Hochsommer gewöhnlich ganz eisfrei werden, so dass also wirklich die Stagnation der Höhlenluft als eine notwendige Vorbedingung ausgiebigerer Eisbildung anerkannt werden muss. So wird denn also alles wesentliche durch diese Theorie gut erklärt, doch können wir trotzdem nicht zugeben, dass *Schwalbe*s Deutung des Vorganges als eine physikalisch unzulässige zu verwerfen sei. Eine grosse Einschränkung allerdings muss sich ihr Geltungsbereich gefallen lassen.

[1]) Aus *Penck*s Mitteilungen über die in den Karsthöhlen angelegten Thermometerstationen geht hervor, dass die kalte Winterluft sehr tief in das Innere dieser sonst ziemlich gleichmässig temperierten Grotten eingreift.

XVI. Die zerstörenden Kräfte an der Erdoberfläche.

Charakteristik der aufbauenden und zerstörenden Agentien. Wir haben in Abschnitt IV in Erfahrung gebracht, in welcher Weise wir uns die Gebirge der Erde entstanden zu denken haben. Einerlei, ob dieser Ursprung ein *sedimentärer*, ein *plutonischer* oder *vulkanischer* ist, wenn keine anderen Agentien vorhanden wären, durch welche jene Gebäude unausgesetzt angegriffen und in ihren Aussenteilen umgeformt werden, so würde uns die gesamte Erdoberfläche den Eindruck der *grössten Einförmigkeit*, vom Standpunkte des Künstlers aus den der äussersten Langweiligkeit machen. Der Plateaucharakter würde bei den aus dem Wasser niedergeschlagenen Erhebungen massgebend sein, und auch die uns aus Abschnitt V bekannten Modifikationen des Normalzustandes, Faltungen, Verwerfungen u. s. w., würden nur in grossen Zügen jenen Charakter verändern. Auch die als Aufschüttungskegel oder als mantel- und glockenförmige Ergüsse sich darstellenden vulkanischen Gebilde würden nur unerheblich das Gesamtbild stören. Alle jene Eigenschaften der Gebirgslandschaft im Gegenteile, welche dieselbe pittoresk und abwechslungsvoll gestalten, sind *gewissen zerstörenden Einflüssen* zuzuschreiben, welche zu ihrer Arbeitsleistung allerdings ungeheure Zeiträume benötigen, aber niemals gänzlich ruhen, wenn auch im Einzelfalle manchmal eine gewisse periodische Abwechslung in der Aktion der aufbauenden und vernichtenden Kräfte sich konstatieren lässt.

Schon dem Altertum war der hierdurch angedeutete Gegensatz nicht gänzlich entgangen, allein man verweilte nicht länger bei einer so überaus natürlich erscheinenden Thatsache, und erst im „*Speculum naturale*“ des *Vincentius Bellovacensis* (XIII. Jahrhundert) sehen wir die zerstörenden Agentien eingehender gewürdigt. Später sprach sich darüber in gelegentlichen Aphorismen *Lionardo da Vinci* mit seiner bekannten Klarheit aus. Die moderne Geologie ist hauptsächlich durch *Lyell*, der die hohe Bedeutung der *Zeit* und ihres stillen Schaffens der früher herrschenden Kataklysmenlehren gegenüber zu schätzen gelehrt hatte, auf eine bessere Würdigung dieser Vorgänge hingelenkt worden.

Es könnte inkonsequent erscheinen, dass jetzt erst, nachdem in diesem Buche die geodynamischen Probleme mit dem achten Abschnitte ihren Abschluss gefunden zu haben scheinen, auf einen so nahe verwandten Gegenstand zurückgegriffen wird. Allein dies hat seinen guten Grund, denn um jene anscheinend nur mikroskopisch wirkenden Kräfte richtig zu übersehen, muss man mit den Eigenschaften der *Luft*, des *brandenden und fliessenden Wassers* und des *bewegten Eises* bis zu einem gewissen Grade vertraut sein. Auf diesen Standpunkt sind wir jetzt gelangt und damit instand gesetzt,

der Frage näher zu treten, wie aus den gleichmässig parallelepipedischen Massen, welche nach Ablauf des Wassers einen gewissen Erdbezirk bedeckten, die gegenwärtigen, formenreichen Gebilde *herausmodelliert* worden sind.

Verwitterung und Humusbildung. Das mit der atmosphärischen Luft in unmittelbare Berührung kommende Gestein erleidet durch die Einwirkung ersterer eine Aenderung seines molekularen Gefüges, welche wir kurz als *Verwitterung*[1]) bezeichnen. *Chemische Wirkung* steht dabei oben an; denn die *mechanischen Einflüsse* machen sich stets nur im kleineren Masstabe und bei gelegentlichen Veranlassungen geltend. So schmilzt wohl der in den Fels einschlagende *Blitz* oberflächliche Gesteinsschichten und arbeitet so der Zerstörung an seinem Teile vor, allein es sind, wie die von *Heim* bethätigte Zusammenstellung der Wahrnehmungen *Saussure*s, *Ramond*s, *Humboldt*s, *Escher*s, *Heer*s, *Abich*s u. a. darthut, doch immer nur vereinzelte Fälle, in denen eine Wegschmelzung sehr dünner Schieferlagen wirklich auf diese Ursache zurückzuführen war. Die kräftigste Manifestation des elektrischen Schlages fand *Abich* auf dem Gipfel eines alten Vulkanes in Kleinasien vor, wo der Andesit seiner mineralogischen Eigenart teilweise verlustig gegangen und in sogenannten *Fulguritandesit* umgewandelt worden war. Weit einschneidender sind die Eingriffe des *Sauerstoffes* und der *Kohlensäure*, welche wir neben dem Stickstoffe als die wichtigsten Bestandteile der Luft kennen gelernt haben (S. 211). Diese Gase gehen mit den Mineralstoffen, mit denen sie in ununterbrochenem Kontakte sich befinden, neue chemische Verbindungen ein, und da, wie in Abschnitt IV gezeigt ward, jedweder Fels im allgemeinen aus sehr verschiedenen *gesteinsbildenden Mineralien* sich zusammensetzt, so kann derselbe seine Beschaffenheit und Struktur, wenigstens in seinen äusseren Teilen, nicht mehr bewahren. Der feste Fels überzieht sich mit einer *Verwitterungskruste*, innerhalb deren nur noch ein sehr geringfügiger Zusammenhang herrscht, so dass dieselbe leicht entführt und eine weitere Schicht des anstehenden Gesteines den angreifenden Faktoren blossgelegt werden kann.

Die Luft an sich würde den tiefer liegenden Gesteinspartien gegenüber immerhin einen sehr schweren Stand haben, und gewiss wäre sie allein nicht vermögend, Zersetzungen von jener Intensität zu erreichen, wie sie nach *v. Fritsch* beim *Granit* sich wirklich ereignen; man soll, dieser Quelle zufolge, Granitlagen von einer Mächtigkeit bis zu 25 m in eine zusammenhangslose Masse von Schutt und Grus verwandelt gesehen haben. Hier hat wesentlich das Wasser seine Rolle gespielt.

Dasselbe, mag es nun in der Form von Thau, Regen oder

[1]) In wissenschaftlich-systematischer Weise hat zuerst *v. Suckow* diese Art der langsamen Zerstörung behandelt (Die Verwitterung im Mineralreiche, Leipzig 1848). Kürzer hebt alle den Geologen und Geographen interessierenden Momente hervor *Heim* (Ueber die Verwitterung im Gebirge, Basel 1879).

Schnee den Stein getroffen haben, ist niemals *vollkommen rein,* vielmehr enthält es stets die Gasarten der Luft und zumeist noch andere Einschlüsse [1]). Das Wasser sickert in den Boden ein, mit dessen Bestandteilen es sich sättigt [2]); es *löst* also die Mineralien chemisch auf, und zwar findet der von der Chemie aufrecht erhaltene Gegensatz zwischen *löslichen* und *unlöslichen* Substanzen in der Natur keinen Platz, weil letzterer eine unbegrenzt lange Zeit zur immer sich erneuernden Wiederholung der Angriffe zur Verfügung steht. Die widerstandsfähigsten Silikate müssen auf diese Weise ihren Gehalt an Kalium, Natrium, Eisen u. s. w. abgeben, und es gehen diese Stoffe teilweise in das Wasser selbst über, während die felsbildenden Mineralien auch ihrerseits Wasser aufnehmen und durch diese *Hydratbildung* metamorphosiert werden. Die veränderte Farbe der Felsen macht den sich stets wiederholenden Prozess schon aus der Ferne erkennbar. Immer tiefere Gesteinslagen machen die Farbenveränderung mit, und da eine sehr scharf markierte Fläche den bereits in Verwitterung übergegangenen Teil der Masse von der noch intakt verbliebenen trennt, so kann man den Fortschritt der Zerstörung verhältnismässig leicht verfolgen. Da die molekulare Anordnung vielfach nicht eine solche ist, wie bei isotropen Körpern, innerhalb deren keine Richtung vor einer anderen bevorzugt erscheint, da vielmehr der krystallographische Charakter der Mineralien ebenfalls bestimmend mit einwirkt, so dringt die Verwitterung nicht allenthalben gleich schnell vor, wie dies die Untersuchungen von *Pape* über die den Wellenflächen der Optik vergleichbaren *Verwitterungsellipsoide* bezeugen. Je tiefer, um so verwickelter gestaltet sich natürlich die Zersetzung — *komplizierte Verwitterung* nach *J. Roth* —, indem jetzt nicht lediglich die von aussen kommenden Agentien mitwirken, indem vielmehr dann die chemischen Neubildungen auch von den in den höheren Schichten bereits gebildeten Lösungen mit beeinflusst werden.

Neben der chemischen Thätigkeit der Luft und des Wassers darf die vorbereitende *Sprengkraft des gefrierenden Wassers* nicht unberücksichtigt bleiben. Wasser befindet sich bekanntlich (S. 291), wenn die Lufttemperatur unter + 4° C. sinkt, in einem Expansionszustande, und wenn auch eine einzige Frostnacht die Zerstörung eines Felsblockes noch nicht bewirken kann, so gelingt dies doch sicher einer Reihe von Frostperioden. Diese Sprengarbeit hilft mit-

[1]) Der Gehalt des Schnees an *Schwefelsäure* und *schwefeliger Säure* ist von *R. Sendtner* als ein nicht unerheblicher bestimmt worden, und daraufhin hat *C. Lang* den Schnee als einen Zerstörer der Bild- und Bauwerke in unseren Städten geschildert.

[2]) Die Abhängigkeit, in welcher die Quantität des in den Erdboden einsickernden meteorischen Wassers von der Beschaffenheit des Bodens und von dem — eine starke Verminderung herbeiführenden — Vorhandensein einer lebenden Pflanzendecke steht, wurde von *Wollny* näher erforscht. Die Menge des Sickerwassers nimmt mit der Feinheit der Bodenzerteilung ab; krümeliger Boden hat eine weit grössere Rezeptivität als pulverförmiger, und wenn im Boden Steine vorhanden sind, so wird, wenigstens bis zu einer ungefähr angebbaren Grenze hin, die abfliessende Wassermenge grösser.

hin allein schon an der Verkleinerung der Gesteinsmassen mit, sie thut dies aber auch noch insofern, als mit jeder solchen Auflösung des inneren Zusammenhanges neue und vielfältige Ansatzpunkte für die chemische Zerlegung geschaffen werden müssen. — Dass ferner auch *Rauhreif* und *Glatteis* bei der Zerstörung selbst der härtesten Gesteine hilfreiche Hand bieten und bei der Modellierung abenteuerlicher Felsgestalten eine hervorragende Rolle spielen können, hat *Assmann* nachgewiesen. Zumal im Quadersandstein (S. 93) ist dergleichen keine Seltenheit; bekannt sind die abenteuerlichen, den Gesetzen der Schwerkraft anscheinend hohnsprechenden *Adersbacher Felslabyrinthe,* wo mehrere tausend, teilweise 40—50 m hohe Felsobelisken in buntestem Gewimmel gen Himmel ragen, und auch sonst trifft man im böhmisch-schlesischen Grenzgebirge Fälle von ungewöhnlicher Zerklüftung (*Heuscheuergebirge, Wilde Löcher* bei Cudowa), die auf eine ähnliche Entstehungsursache hindeuten. *Assmann* hält dafür, dass Glatteisbildung auf geneigter Ebene auch isolierte Felstrümmer zu vermeintlich spontaner Bewegung, d. h. zum Gleiten, bringen kann, wie ein solches von den sogenannten *Wandersteinen* im Riesengebirge konstatiert sein soll. *Thoulet* ist ferner überzeugt, dass in jenen Ländern, in welchen durch längere Zeit die Lufttemperatur unter null, die Temperatur des angrenzenden Meeres über null Grad sich bewegt, die Wassereinschlüsse, welche von der anbrandenden Woge in den Gesteinsritzen zurückbleiben, gefrieren und durch die dabei unvermeidliche Sprengwirkung Splitter ablösen, der eigentlichen Meereserosion (s. u.) den Weg ebnend. An der Westküste von Newfoundland will *Thoulet* diese Beobachtung zum öfteren gemacht haben.

Im soeben besprochenen Falle war die Wirkung der Temperaturveränderung mehr eine *indirekte*; rascher Wechsel der Luftwärme fördert die Verwitterung aber auch in *direktester Weise.* Zumal aus der Wüste liegen Berichte dieser Art vor. *J. Walther* bezeichnet das auf den Gegensatz von Tageshitze und Nachtkühle zurückzuführende *schalige Abblättern* der Gesteine als *Desquamation* im engeren Sinne [1]); Urgebirgsfelsen lassen auf den ersten Anblick keine auffallenden Spuren der Verwitterung erkennen, aber auf einen stärkeren Schlag hin fallen die lockeren Blätter zu Boden und zerteilen sich zu einem Haufwerke von Trümmern. Wenn man aber diese Granitfragmente zur Hand nimmt, so sieht man, dass das leichtest zersetzbare Mineral, der Feldspat (S. 71), noch gar keine Zeichen von Thonbildung aufweist, und damit ist entschieden, dass da nur eine *thermische*, nicht aber eine *chemische* Verwitterung in Mitte liegt. Letztere selbst besagt im regenlosen Wüstengebiete viel weniger, als irgendwo sonst, und nur an solchen Stellen konnte *Walther* ihr Wirken beobachten, wo der nächtliche Thau, unbehindert durch die Sonnenstrahlen, längere Zeit am Gesteine haften blieb.

[1]) Bei *v. Richthofen,* der zuerst diesen Ausdruck einführte, kennzeichnet derselbe irgendwelche Abschuppung vom Gesteine überhaupt.

Walther hat auch auf einen Umstand aufmerksam gemacht, der bei der Beurteilung der Verwitterungsvorgänge in heissen Ländern früher nicht gehörig beachtet worden war. Dies ist die *verschiedene Färbung* und *Eigenwärme* der Gesteine und gesteinsbildenden Mineralien. Wirken die sich in jähem Wechsel ablösenden Temperaturveränderungen auf eine homogene Oberfläche ein, so bilden sich allerdings Sprünge, aber von da bis zur Lösung des Zusammenhanges selbst ist noch ein weiter Weg, während z. B. der Wüstengranit, der sich aus weissem Quarz, rotem Orthoklas und schwarzem Glimmer zusammensetzt, in seinen drei Bestandteilen ganz verschieden auf die Tendenz zur Ausdehnung resp. Zusammenziehung reagiert. Es wird hierdurch ein *oberflächliches Zerbröckeln* der krystallinischen Gesteine bedingt und zugleich bewirkt, dass die Beschaffenheit des Wüstensandes nach Farbe und Korngrösse namhafte Verschiedenheiten dokumentiert [1]).

Von den Organismen darf bei der Aufzählung der Faktoren, welche in ihrer Gesamtheit den Verwitterungsprozess einleiten und im Gange erhalten, durchaus nicht abgesehen werden. Aus den Pflanzenwurzeln sondern sich organische Säuren ab, welche die Lösung der Mineralstoffe befördern, und das Wachstum dieser Wurzeln ist von einer unwiderstehlichen Expansion begleitet, welche die festesten Körper auseinandersprengt. Die Gattung *Saxifraga* (Steinbrech) spricht schon in ihrem Namen ihre Eigenschaft aus, und daneben zählt *Heim* auch noch Bergföhre, Dryas octopetala, Silena acaulis und Alpenrose als Pflanzen auf, die als Gesteinszertrümmerer genannt zu werden verdienen. Aber auch die *Mikroorganismen* sind, einer sehr wichtigen Entdeckung von *Müntz* zufolge, im gleichen Sinne thätig. An der Oberfläche der Felsen, so glaubt derselbe versichern zu können, ist *organisches nitrefizierendes Ferment* allenthalben verbreitet, das durch Frost nicht getötet wird und das Gestein in etwa derselben Weise chemisch beeinflussen dürfte, wie dies die *Flechten* thun.

Da, wo es an Agentien zur raschen Weiterführung des Verwitterungsschuttes fehlt, wird dieser stets noch weiter mechanisch verkleinert und chemisch zersetzt und geht in jenen erdigen Ueberzug der Oberfläche über, den man in der Agrikulturphysik kurzweg als *Boden* bezeichnet. Man unterscheidet *primären Boden*, der mit dem anstehenden Gesteine, welches er bedeckt, wesentlich von gleicher mineralogischer Beschaffenheit ist, und *sekundären Boden*, das Residuum eines Schwemmprozesses, welcher ursprüngliche Verwitterungsprodukte an tiefer gelegene Orte hinabflösste. Die absterbenden Pflanzen, welche anfänglich im Felsschutte angesiedelt waren, bilden die Vorbedingung für die als *Humus* bekannte Erd-

[1]) Das plötzliche Zerspringen von Felsen infolge von Wärmeunterschieden kann nicht in Abrede gezogen werden, nachdem klassische Zeugen, wie *Livingstone* und *Fraas*, es selbst erlebt zu haben angeben, doch erblicken *Schweinfurth* und *Walther* darin immerhin nur ein ganz aussergewöhnliches Vorkommnis. Man entsinnt sich auch dessen, was oben (S. 19) von physischen Veränderungen auf dem Monde gesagt ward.

schicht, eine schwarzbraune Masse, welche als *Ackerkrume* und *Dammerde* zur Aufnahme neuer, auch höher organisierter Pflanzenkeime vorzüglich geeignet ist. Die in dieser Erde sich bildenden *Humussäuren* [1]) lösen selbst wieder die mannigfaltigsten neuen chemischen Umbildungsprozesse aus, auf die dann besonders Rücksicht zu nehmen ist, wenn durch künstliche Düngungsmittel der Boden zu Leistungen befähigt werden soll, für welche seine anfängliche Beschaffenheit ihn minder passend erscheinen liess. Bei der Umbildung des Humus sowohl, wie auch bei der Zerkleinerung der noch nicht gänzlich pulverisierten Gesteinspartikeln sind, wie die berühmten Forschungen *Ch. Darwins* uns belehrten, auch die *Würmer* unermüdlich thätig, indem sie Material von unten nach oben und wieder von oben nach unten bringen und eine Art von Vertikalzirkulation innerhalb der Ackerkrume unterhalten.

Als ein Grenzgebiet zwischen Geologie und Agronomie ist die sogenannte *Bodenkunde* anzusehen, welche uns mit der Verwitterungsdecke der einzelnen Erdgegenden bekannt macht und daraus Regeln für jene Art des Pflanzenbaus ableitet, welche unter gegebenen Verhältnissen empfohlen oder verworfen zu werden verdienen, wobei natürlich auch dem Klima entsprechend Rechnung getragen werden muss. Die Grundluft (S. 211), der Stand des Grundwassers, die hygroskopischen Eigenschaften des Bodens sind nicht minder beachtenswerte Faktoren, aber zunächst massgebend bleibt doch immer die *geognostische Beschaffenheit der Felsart, welche durch ihre Verwitterung* den in frage kommenden Boden lieferte.

Erosion und Denudation im allgemeinen. Soeben war davon die Rede, dass die verwitterten Massen nicht an dem Orte dauernd liegen bleiben, an welchem sie sich gebildet hatten, sondern dass sie durch Naturkräfte anderswohin transportiert werden. Vorab im Gebirge wird ersteres die Regel, das Gegenteil die seltene Ausnahme sein. Wir haben somit, wenn wir die zerstörenden Kräfte an der Aussenseite unseres Planeten umfassender kennen lernen wollen, die hinsichtlich der Verwitterung angestellten Betrachtungen zu verallgemeinern.

Jede Thätigkeit der Natur, durch welche Oberflächenbestandteile, welche vordem untrennbar mit dem Felsgerüste verbunden waren, von diesem losgetrennt und an einen anderen Ort verbracht werden, bezeichnen wir als *Erosion* (*erōdĕre*, ausnagen). Für die Erosion bildet also die Verwitterung die notwendige Grundlage, denn durch diese wird die Möglichkeit des Transportes der Gesteinstrümmer vorbereitet, doch kann es gleichwohl auch Formen der

[1]) Diese Humussäuren sind es auch, welche an der eigentümlichen Färbung der sogenannten *schwarzen Gewässer* in Südamerika die Schuld tragen. *A. v. Humboldt* hatte die kaffeebraune Farbe mehrerer Zuflüsse des Orinoko hervorgehoben, nicht jedoch zu erklären vermocht; als aber *Müntz* einige von *Marcano* gesammelte Wasserproben analysierte, ergab sich der angeführte Entstehungsgrund.

Erosion geben, bei denen nicht eigentlich von einer vorhergehenden Verwitterung gesprochen werden kann.

Wir können uns fürs erste, wenn wir die verschiedenen Modalitäten der durch ihre Vielseitigkeit ausgezeichneten Aktion auseinanderhalten, die *Erosion durch bewegte Luft* denken. Der Wind schlägt an eine Felswand an und splittert Stücke von derselben ab, die er anderswo zusammenführt. Weit energischer wird die *Erosion des fliessenden Wassers* wirken, durch welches die eigentliche Verwitterungsthätigkeit erheblich unterstützt wird. Das Wasser wirkt durch die Stosskraft, mit der es an Hindernisse anprallt, selbst zerstörend, ausserdem aber besorgt es hauptsächlich die *Ablation* des Verwitterungsschuttes und ist regelmässig beteiligt, wenn sich irgendwo sekundärer Boden (s. o.) vorfindet. Wir werden sehen, dass wir verschiedene, auf ganz verschiedene physikalische Grundsätze zurückzuführende Arten der fluviatilen Erosion aufzustellen haben. Auch *bewegtes Eis* übt eine Einwirkung auf seinen Untergrund aus, aber wo für diese *glaziale Erosion* die Grenzen zu ziehen seien, das weiss noch niemand mit Bestimmtheit zu sagen. Endlich versteht es sich ganz von selbst, dass das Meer durch seine *Gezeitenströme* (S. 311) und seine *Brandungswoge* (S. 298) die allermächtigsten Einwirkungen auf das Festland ausübt, so dass also auch der *Meereserosion* in ihren wiederum sehr unter sich abweichenden Aeusserungen zu gedenken ist.

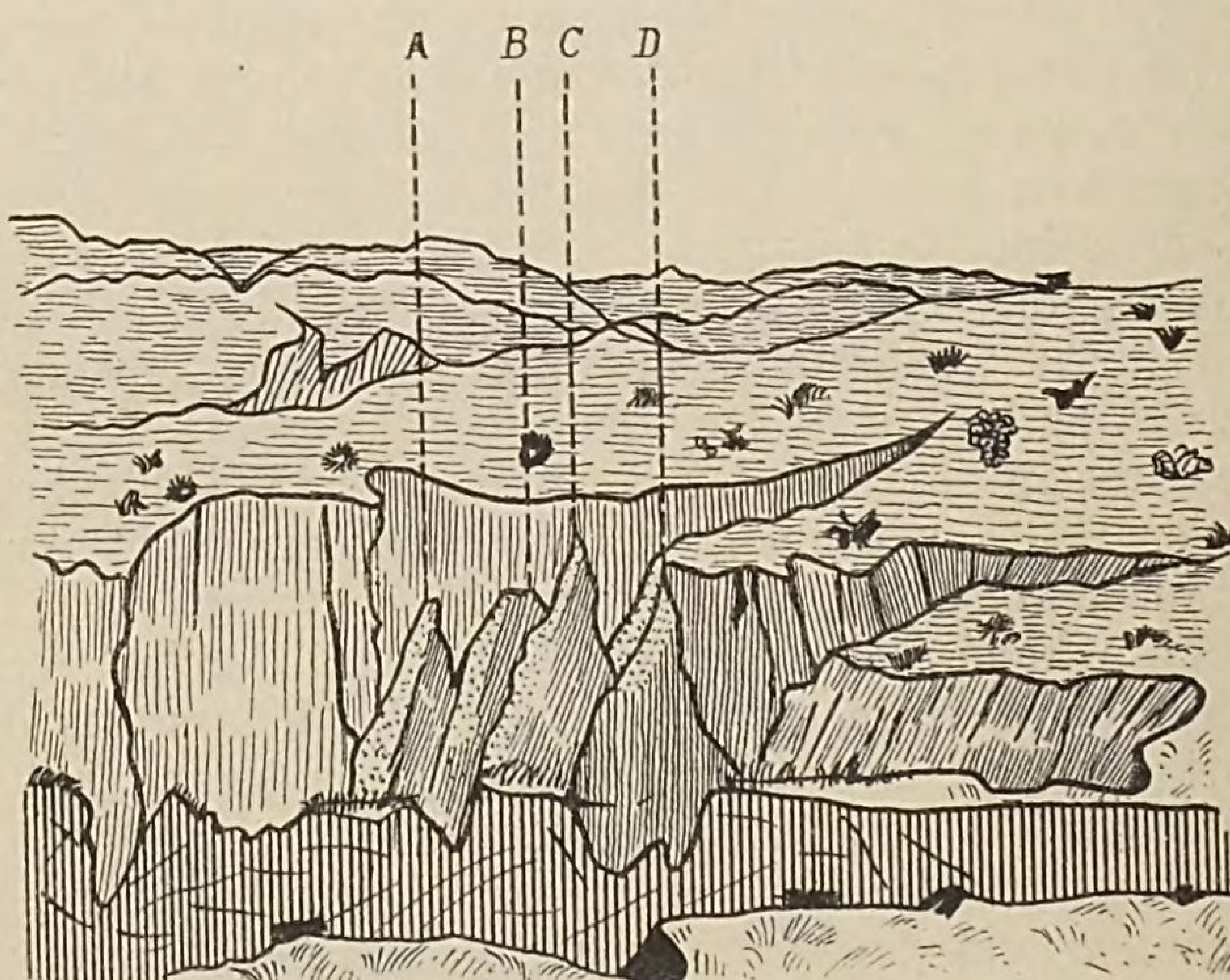
Die Erosion ist auf der einen Seite unablässig bemüht, die Gebirge der Erde zu erniedrigen, und insofern geht ihr also eine ausgedehnte *Denudation der Erdoberfläche* (*denudare*, entblössen) parallel. Man kann sicher sein (S. 124), dass dereinst, zur Tertiärzeit, die feste Erdkruste eine grössere Dicke besass, als dies in der Gegenwart der Fall ist. Allein diese Verminderung hat auch ihre Grenzen, denn die erodierten Bestandteile müssen doch, da kein Substanzverlust für die Erde als Ganzes eintreten kann, wieder an anderen Stellen aufgespeichert werden. Mit *Penck* kann man einen *oberen und unteren Denudationshorizont* als die Grenzflächen betrachten, zwischen denen einerseits die destruktive, andererseits die konstruktive Wirkung der denudierenden Faktoren hin und her schwankt.

Ausgezeichnete Terrainformen als Proben der Denudation. Das Detailstudium der Oberflächengestalt bleibt dem nächstfolgenden Abschnitte vorbehalten. Wenn wir trotzdem jetzt schon einige hierher gehörige Punkte erörtern, so geschieht dies weniger um ihrer selber willen, als vielmehr zu dem Zwecke, Paradigmen zu unseren Ausführungen über Verwitterung und Denudation zu geben.

Festes Gestein geht in ebenen, der Denudation nur wenig ausgesetzten Bezirken, unter dem Einflusse der chemischen Zersetzung und Frostwirkung in eine *lehmartige Masse* über. Dahin gehört z. B. der *Höhlenlehm*, der Ueberrest des Kalksteines in Tropfsteinhöhlen, wenn letzterem seine kohlensauren Salze entzogen

sind, hierher das sogenannte *Eluvium* im Inneren Russlands, hierher der sogenannte *Gehängelehm*, als welchen *v. Richthofen* die dem feuchten Klima der deutschen Gebirge eigentümliche, durch Eisenoxydhydrat braun gefärbte, zähe Verwitterungsschicht krystallinischgeschieferter und eruptiver Gesteine bezeichnet, wogegen sich der *Auenlehm* als unmittelbares Sedimentationsprodukt der Bäche und Flüsse darstellt. Im regenreichen Tropenlande tritt an die Stelle des Gehängelehmes der *Laterit* [1]), dessen eigentliche Heimat, Afrika, durch diese rötlich-braunen Bekleidungen der Thalwände ein sehr monotones Gepräge aufgedrückt erhalten hat. *Buchner, Lenz, Pechuël-Loesche* haben uns eingehende Berichte über diese Bildungen geliefert, zu denen dann noch solche von *Medlicott* und *Blanford*, den indischen Laterit betreffend, hinzugekommen sind. Das Gefüge des

Fig. 126.



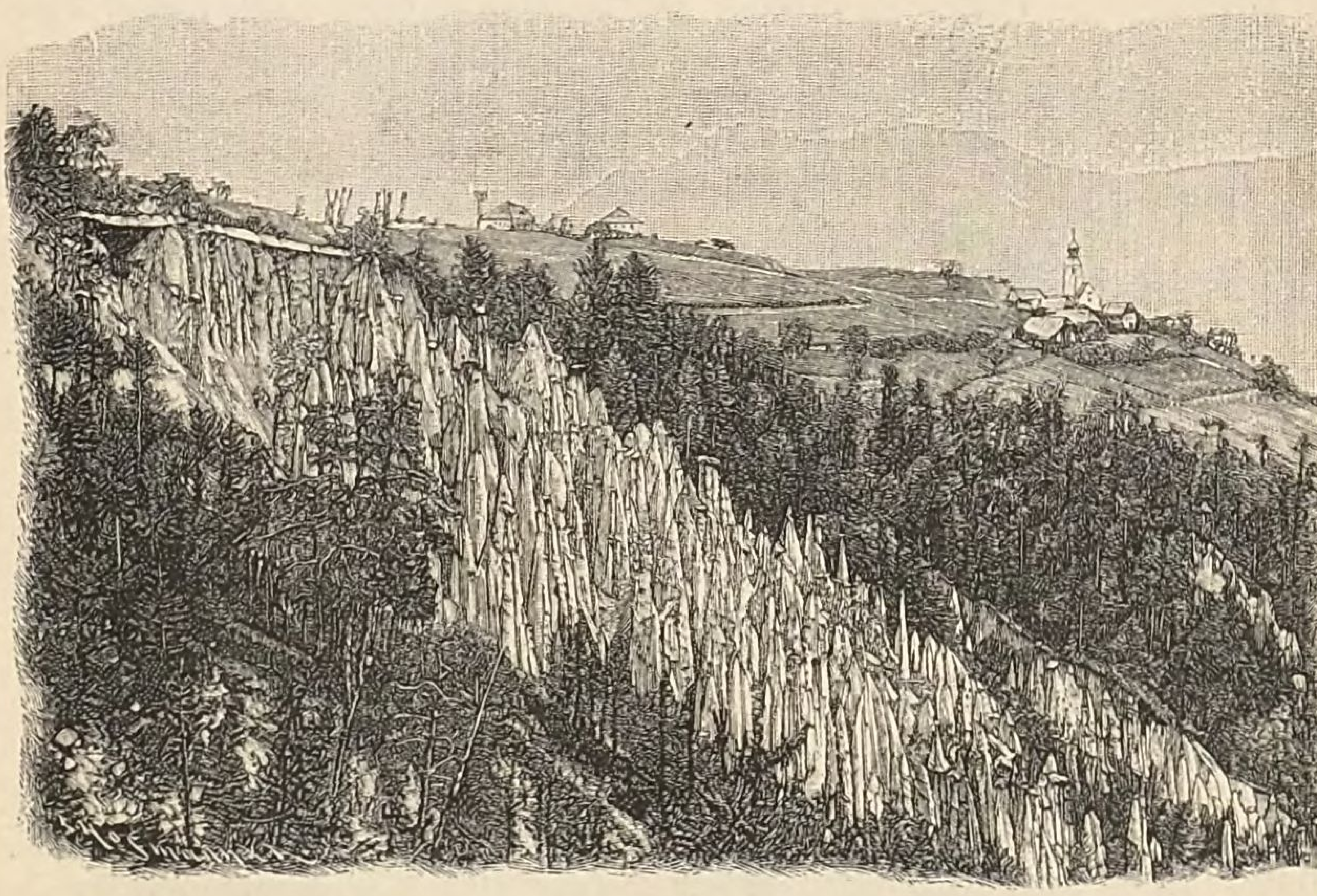
Laterites ist bald ein zelliges, bald ein mehr amorphes, und zwar ist für diesen Unterschied bestimmend, ob der Lehm an primärer oder an sekundärer Lagerstätte sich befindet. Einschlüsse fremdartiger Natur sind selten, doch hat *Monteiro* im Kongo-Laterit, nahe bei Vivi, grössere Malachitstücke angetroffen. An metallischem Eisen kommen 25—36 Prozent in dieser Masse vor. Nicht ganz sichergestellt ist der Ursprung des Laterites, oder besser gesagt, derselbe kann sich, je nach den örtlichen Umständen, aus sehr verschiedenem Gesteine durch Zersetzung bilden. Der *Hochflächenlaterit v. Richthofens*, der sich über die Basaltlager des indischen Dekhan ausbreitet, hat eine Mächtigkeit zwischen 15 und 60 Meter. Die Atmosphärilien sowohl wie das fliessende Wasser finden an der

1) Vielfach ähnelt der Laterit in seiner Farbe und seinem Staube gebrannten Steinen; daher datiert *Buchanans* Namengebung (*later*, der Ziegelstein).

wenig kompakten Masse des Laterites keinen namhaften Widerstand gegen ihre erosiven Tendenzen; es werden also, wie unsere *Fig. 126* (nach *Pechuël-Loesche*) ersehen lässt, aus jener leicht abenteuerliche Gebilde aller Art herausgewaschen, unter denen wir besonders die durch *A*, *B*, *C* und *D* dargestellten Spitzkegel bemerken.

Dieselben haben nämlich eine grosse und auffallende Aehnlichkeit mit den wohlbekannten *Erdpyramiden*, diesen ebenso grossartigen, wie erdgeschichtlich belehrenden Denudationsprodukten unserer Alpen. Als Erdpyramide bezeichnet man einen auf verhältnismässig kleiner Basis aufstrebenden Pfeiler aus lockerer, zersetzter Materie, der in vielen Fällen einen Steinblock oder einen Baum auf seiner Spitze trägt; ein notwendiges Zubehör ist eine

Fig. 127.

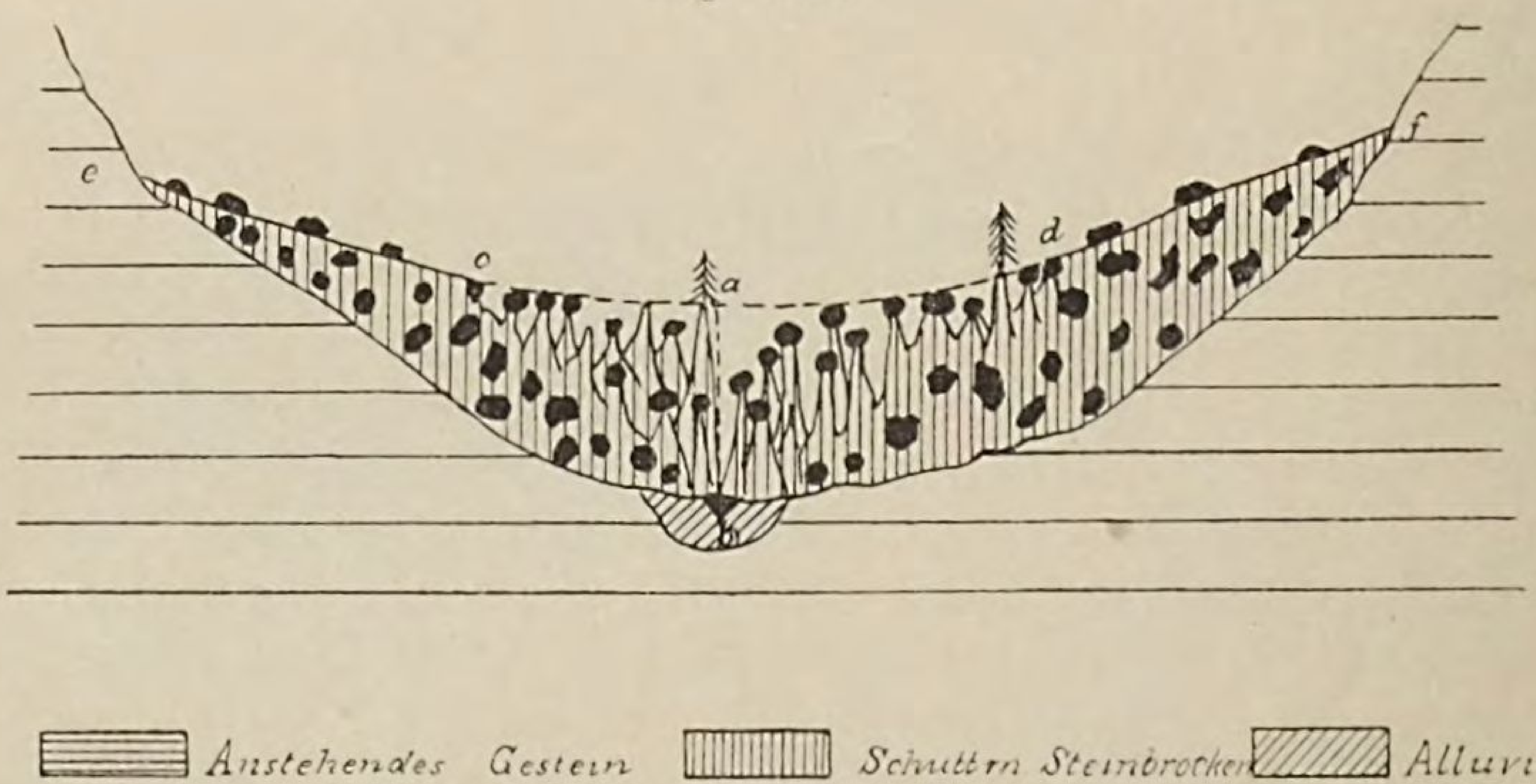


solche Krönung keineswegs, nur wird die Säule dadurch gegen die denudierende Aktion der Atmosphärilien einigermassen geschützt und vermag ihre sonderbare Form länger zu erhalten, während die unbedeckte Pyramide leichter in sich zerfällt. *Fig. 127* macht uns mit jener Oertlichkeit bekannt, an der diese Gebilde, soweit bis jetzt bekannt, in der grössten Menge und Formenmannigfaltigkeit auftreten; es ist die Schlucht eines Giessbaches in der Nähe des Dorfes Lengmoos in Tirol (auf demselben Rittener Plateau, an dessen südwestlichem Fusse die Stadt Bozen gelegen ist). Ausserdem kennt man in Tirol noch eine ganze Reihe von Stellen dieser Art: in der ganzen Umgebung von Bozen, oberhalb von Meran, bei Blumau im Eisackthale, im unteren Eggenthale, bei Schönberg an der Brennerstrasse und, wie *Rabl* angibt, nördlich von Lienz im Gebiete der Kreuzeck- und Schobergruppe. Natürlich kommen

solche Bildungen überall auf der Erde vor: so hat man Beschreibungen ausgezeichneter Erdpyramiden aus dem Himálaya, aus den nordamerikanischen Territorien Dakotah und Arizona u. s. w. Die Höhe der „Loamtürm“ (Lehmtürme), wie sich der Tiroler recht bezeichnend ausdrückt, ist eine überaus verschiedene; manchmal, so z. B. am Jenesien-Berg bei Bozen, ruht ein ungeheurer Felsklotz schwerfällig auf einer sehr kurzen Säule, so dass beide zusammen unwillkürlich den Eindruck eines Riesenpilzes hervorrufen, und anderwärts wieder streben stolze Obelisken himmelan, wie denn *v. Richthofen* von 100 m hohen Erdpyramiden am Rio Grande berichtet.

Zur Entstehung solcher Gebilde, die man im kleinen nach starkem Regen auf mit Schieferfragmenten bedeckten Feldern gar nicht selten wahrzunehmen Gelegenheit hat, bedarf es zweier Vorbedingungen: *einer begrenzten Masse verwitterten Gesteinsmateriales,*

Fig. 128.



welche das Substrat bildet, und *eines ausspülenden Gewässers*, welches die Denudationsarbeit im Inneren dieses Substrates besorgt. Alter Moränenschutt oder noch besser die Verwitterungsprodukte plutonischer und vulkanischer Gesteine sind es, in denen sich der Prozess mit grosser Raschheit abspielt; die Erdpyramiden Tirols bestehen grossenteils aus zersetztem, in eine lockere Grusmasse aufgelöstem Porphyr[1]), während jene gigantischen Erdsäulen Amerikas sich aus trachytischen Tuffen zusammensetzen. Schematisch klärt den Vorgang im Sinne *Lyells Fig. 128* auf; die zersetzte Masse hat von Anfang an den Tobel, den fliessendes Wasser in festes Gestein hineingegraben hat, ausgefüllt, so dass ihre Oberfläche durch die Linie *ecadf* in jenem Augenblicke angedeutet war, in welchem der

[1]) Recht belehrend ist in dieser Hinsicht ein Vergleich der zwei in den allgemeinen morphologischen Zügen auffällig mit einander übereinstimmenden Giesbachschluchten, welche das Dorf Lengstein (in unserer Figur) rechts und links einsäumen. Hier steht allenthalben Porphyr an, und dessen Schutt hat die Form der Erdpyramiden angenommen; der andere Ravin dagegen verläuft in einem schmalen Verrukano-Streifen, dessen Material viel schwerer zu erodieren ist.

Neubildungsprozess gerade einsetzte. Der in der Schlucht herabfliessende Bach, dessen Alluvium wir an der tiefsten Stelle, bei *b* wahrnehmen, hat von unten her die Verwitterungsreste angegriffen, während das Regenwasser von oben her seine Rinnen in die Oberfläche des Komplexes eingrub und diese allgemach vertiefte. Zahlreiche noch unzerstörte Steinbrocken sind in den Lehm eingebettet; um diese fliesst das meteorische Wasser herum und sucht sich den Weg in grössere Tiefen zu bahnen, so dass auf diese Weise die eigentlichen Erdpyramiden gewissermassen herauspräpariert werden. Bei *a*, vertikal über dem Bachgerinne *b*, ist die Zerstörung am weitesten fortgeschritten, weil da die von oben und die von unten ausgehenden Kräfte sich am meisten in die Hand arbeiten, wogegen zwischen *e* und *c* einer-, zwischen *d* und *f* andererseits noch nichts von der Auflösung zu bemerken ist. Dies rührt grossenteils davon her, dass die Gehänge *ce* und *df* etwas stärker geböscht sind, so dass der Regen auf diesen Flächen leichter abläuft. In dem Masse jedoch, in welchem von der Seite her die Konsistenz dieser Teile gefährdet wird, müssen auch sie der nicht rastenden Ausnagungsthätigkeit des Wassers zum Opfer fallen [1]).

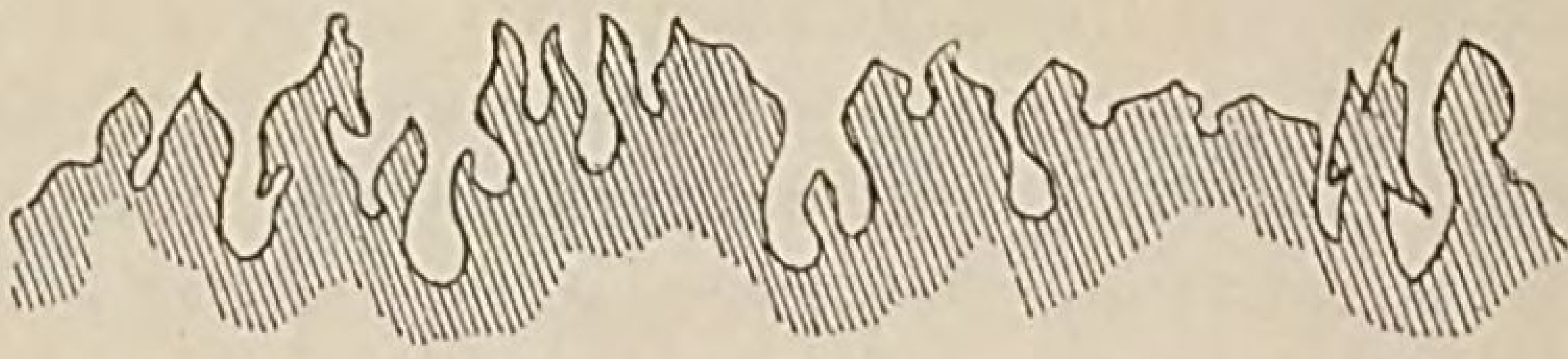
Bisher hatten wir es mit Verwitterungsgebilden im eigentlichen Wortsinne zu thun, denen gegenüber die Erosion und Ablation des rinnenden Wassers ein leichtes Spiel hatte. Sehen wir jetzt zu, wie sich unmittelbar an den Felsen des Hochgebirges diese Naturkraft bethätigt. Eine annähernd horizontale Kalksteinfläche von homogener Beschaffenheit scheint unter der Einwirkung der Atmosphärilien dazu bestimmt, sich mit einer gleichmässig dicken Verwitterungskruste zu überziehen, allein da eben doch die einzelnen Partien der Fläche Unterschiede in der Löslichkeit aufweisen, so entstehen seichte Vertiefungen, die sich bei fortwährendem heftigem Regenfalle immer entschiedener markieren, während zugleich die zwischen benachbarten Höhlungen stehen gebliebenen Gesteinsmauern stets dünner, zackiger, riffähnlicher werden. So entstehen die *Karren-* oder *Schrattenfelder*, die besonders der Kreideformation eigentümlich sind, aber auch im Gebiete der alpinen Trias, vorzüglich des Dachsteinkalkes, nicht fehlen. Die Karren sind oft schwer zu begehen; wenn man das in *Fig. 129* dargestellte *Heim*sche Profil eines solchen Karrenfeldes betrachtet, kann diese Unwegsamkeit nicht eben wunder nehmen [2]). An ein Ausschleifen der Karren durch Geschiebe oder, wie eine zeitlang geglaubt wurde, durch

[1]) Ein in mancher Hinsicht den Lehmpyramiden ähnliches Denudationsgebilde sind die sogenannten *Åsar* in Schweden und Finnland. Schon im vorigen Jahrhundert haben *Abildgard* und *Tilas* auf diese Geröllrücken (finnisch *Rapawiki* genannt) aufmerksam gemacht; *Helmersen* nimmt an, dass rinnendes Wasser die früher viel ausgedehnteren, kleinen Plateaus vergleichbaren Geschiebemassen zerschnitt, und dass so diese mehr länglichen Streifen aus Trümmermaterial übrig blieben.

[2]) Abbildungen grossartiger Karrenfelder von wunderbarer Treue hat *Simony* seinem schönen Werke „Das Dachsteingebirge“ (1. Teil, Wien-Olmütz 1889) einverleibt. Wir heben als besonders typisch insbesondere diejenigen der Karren in der Wiesalpe und auf der Ochsenwieshöhe hervor.

darüber hingegangenes Gletschereis ist nicht zu denken, vielmehr spricht sich der Charakter der reinen chemischen Verwitterung mit nur geringfügiger nachgefolgter Ablation nirgends so scharf aus,

Fig. 129.



wie gerade hier. Dass der Prozess der Schrattenbildung nicht etwa in geologischer Vorzeit ein anderer war, ersieht man aus dem von *Heim* angeführten Beispiele der Kalksteinbrüche von Aix in Savoyen, welche erst von den Römern eröffnet wurden. Die Flächen, welche der Einwirkung der atmosphärischen Agentien seit ungefähr zweitausend Jahren zugänglich sind, erweisen sich bereits als mit zahlreichen, wenngleich noch seichten Karren besetzt.

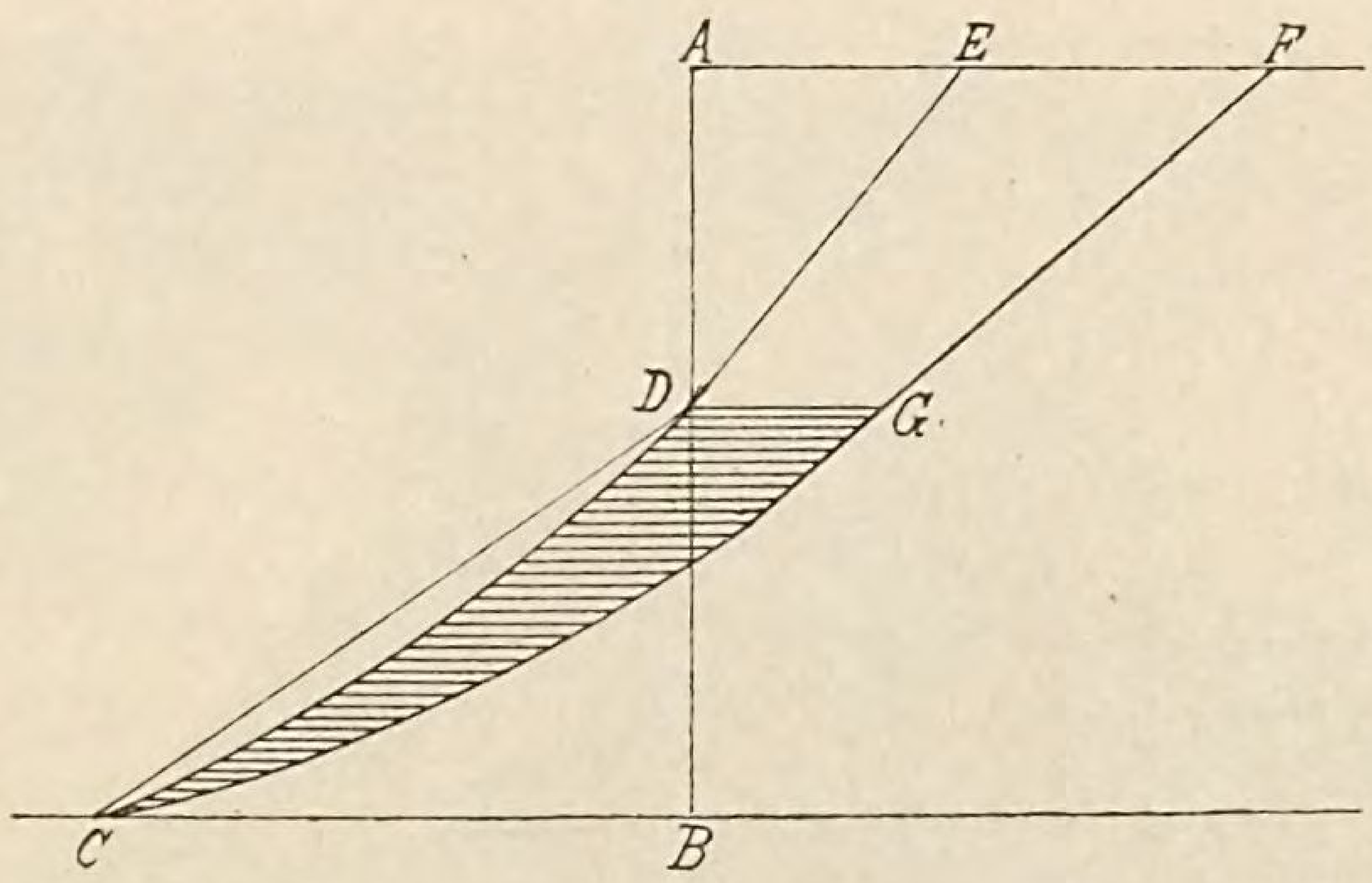
Von der Abschuppung, welcher das krystallinische Gestein häufig unterliegt, ist bereits die Rede gewesen (S. 404), und aus ihr erklärt sich auch die schon bei einer viel früheren Gelegenheit (S. 71) berührte, dem Granit, Gneis, Syenit u. s. w. eigene Tendenz zur Bildung von *Blockgipfeln* und *Felsmeeren*. Bei der Gestaltung der Hänge eines Berges wirkt die Verwitterung ihrerseits sehr kräftig mit; sie schreitet von unten gegen oben vorwärts und zerlegt, je nachdem sie an Stellen von grösserer oder geringerer Zersetzungsfähigkeit gelangt, die Gesteinsfläche in deutlich abgegrenzte Bezirke, die durch mehr oder weniger breite Zonen annähernd horizontalen Verlaufes von einander geschieden sind. Am Kurfistengebirge (Schweiz, Toggenburg) nach *Heim* und am Glärnisch (Glarus) nach *Baltzer* kann man diese *Verwitterungsterrassen*, diese *Bandstruktur*, sehr schön beobachten (vgl. *Fig. 130*). Auf den flachen Treppenstufen siedelt sich leichter Vegetation an, und es umziehen dann den an sich unersteiglich scheinenden Felskoloss *Rasenbänder*, wie sie bei der Schilderung schwieriger Gebirgstouren so häufige Erwähnung finden. An der Biegung und Lage der Rasenbänder kann das geübte Auge des Geologen, wie *Heim* betont, die Stellungs- und Neigungsverhältnisse der Schichten, aus denen sich der Berg aufbaut, erkennen.

Fig. 130.



Der Verwitterungsabtrag wird zum teile durch das fliessende Wasser entführt, zum teile auch findet er, einfach dem Zuge der Schwere folgend, den Weg nach tieferen Regionen; auch die Lawinen versehen gelegentlich diesen Transportdienst. Am Fusse der steilen Abhänge sammeln sich die losgetrennten Massen in Form der jedem Alpenwanderer wohlbekannten *Schutthalden* oder *Schuttkegel* an; für jeden solchen gibt es eine von der Art des Gesteines abhängige Maximalböschung, welche in der Natur gewöhnlich angenommen wird. Wenn wir einen von *Hettner* angedeuteten Gang der Ueberlegung entsprechend verallgemeinern [1]), können wir durch unsere *Fig. 131* die Verhältnisse, nach denen die Schuttanhäufung sich richtet, zur Anschauung bringen. *AB* ist der Schnitt der ursprüng-

Fig. 131.



lich senkreckt abfallenden Felswand mit der Papierebene, die Zerstörung sei aber bereits so weit vorgeschritten, dass das ganze Dreieck (Schnitt eines dreiseitigen Prismas) *AED* abgebröckelt ist. Die Kurve *DC*, längs welcher die Schutthalde geböscht ist, wird dann von der Graden *DE* in *D* berührt werden. Nun gehe die Zerstörungsarbeit weiter vor sich, und zwar möge nach einer gewissen Zeit das Gesteinsviereck *DEFG*, resp. der Körper, dessen Querschnitt eben jenes Viereck ist, der Vernichtung anheimgefallen sein, während *CG*, die neue Böschungskurve, die Linie *FG* zur Tangente in *G* hat. Das gemischtlinige Dreieck *CDEFG*, gleich $\triangle\ CDG$ + Trapez *DGFE*, müsste unter dieser Voraussetzung der neu abgelagerten Masse an Grösse gleich sein, eine Bedingung, welche es ermöglicht, mathematische Beziehungen zwischen den in Rede stehenden Bestimmungsstücken aufzustellen [2]). In Wirklichkeit

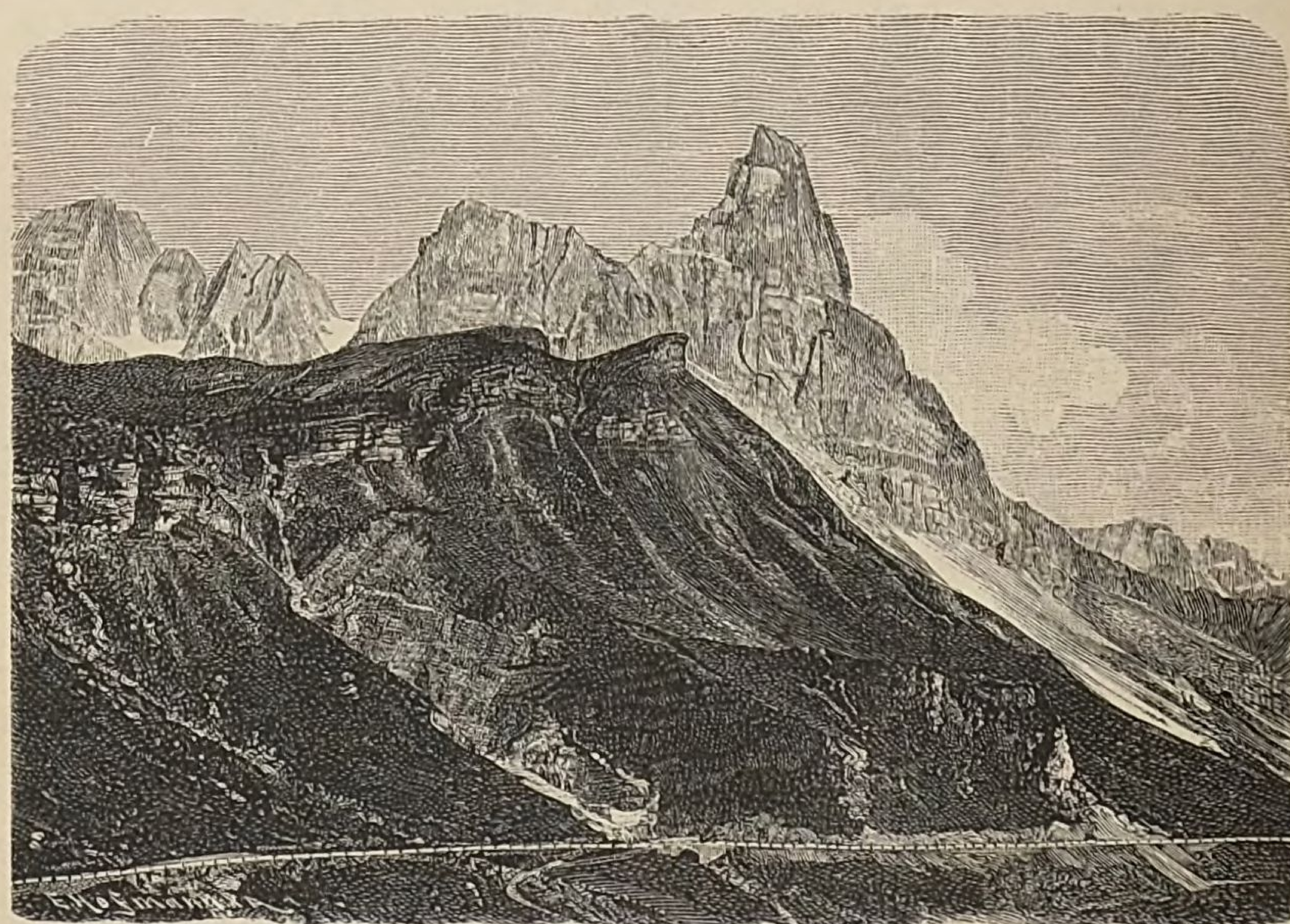
[1]) Die Versuche, mathematische Formeln für die proteusartigen Wirkungen der Erosion aufzufinden, bleiben vorläufig noch an der Aussenseite der zu erklärenden Erscheinungen haften. Die von *Milne* aufgestellten Relationen z. B. sind unzweifelhaft als Einzelthatsachen richtig, lassen sich aber nicht wohl zu einem Gesamtbilde vereinigen. Der von *Hettner* betretene Weg dürfte noch am meisten weiteren Anforderungen genügen.

[2]) Die bezügliche Funktionalgleichung ist vom Verf. an einem anderen Orte (Naturwissensch. Rundschau, 3. Band. S. 149) hergeleitet worden.

wird natürlich die Annahme, dass *DG* parallel zu *EF* verbleibt, nur sehr bedingt richtig sein, wie überhaupt der ganzen Betrachtung nur ein schematischer Wert zukommt.

Ergänzt wird das Bild der in Verwitterung und fortschreitender Denudation begriffenen Felswand durch die vom fliessenden Wasser eingegrabenen *Wasserrisse* oder *Runsen.* Indem dieselben sich mehr und mehr anhäufen, und indem bei ihrer Bildung zunächst diejenigen Stoffe weggebeizt werden, welchen die geringste Widerstandsfähigkeit innewohnt, bildet sich jenes zerrissene, bizarre Landschaftsbild heraus, welches insbesondere unseren *Kalk-* und *Dolomitgebirgen* (S. 75) eignet. Auch erfahrene Kenner des Hochgebirges werden zweifelhaft darüber sein, welchem Teile der Alpen

Fig. 132.



sie in dieser Hinsicht den Preis zuerkennen sollen; vielleicht möchte schwer zu übertreffen sein der (unechte) Dolomitzug im südöstlichen Tirol, welcher südlich vom Sass Maor, nördlich von der Pala-Gruppe abgeschlossen wird. In *Fig. 132* ist „das Matterhorn der Dolomiten“, der *Cimon de la Pala*, selbst abgebildet, wie er sich von dem 1200 m tiefer gelegenen Rolle-Pass aus darstellt; leider konnte die groteske Vielgestaltigkeit der Erker, Türmchen, Säulen, Zähne und bastionsartigen Vorsprünge nicht auf dem Bilde zur Geltung gelangen, welche die Erosion in den Grat der Rosetta, der Cima di Ball und der Cima di Vezzana eingemeisselt hat.

In manchen Kalkgebirgen treten an die Stelle jener fast dekorativ wirkenden Unregelmässigkeiten ausgedehntere Hohlräume von scharf ausgeprägter Eigenart; es sind dies die *Kare*, als deren

Träger das *Karwendelgebirge* besonders bekannt, von denen als Sammelstätten von Firn auch oben (S. 371) bereits gesprochen worden ist. Die Morphologie der Kare hat eine eigene Nomenklatur der Kare notwendig gemacht, mit welcher wir durch die Arbeiten von *Rothpletz* und *Gruber* vertraut werden. Das Wort Kar selbst bedeutet bei den Gebirgsbewohnern eine Hohlform schlechtweg, wie denn auch die Ausdrücke Wanne, Pfanne, Trog im Gebrauche stehen. Die *Felsenkare* sind einfach die Enden von Längsthälern; die Erosion hat hier, nach *Rothpletz*, aufgehört, thätig zu sein, und die atmosphärischen Niederschläge versickern rasch in unterirdischen Kanälen. Mitunter vereinigen sich zwei solche Zirken zu einem *Sammelkar* (Moserkar, Rossloch). In manchen Fällen endlich, so besonders im Soiernkessel, glaubt der genannte Gelehrte ein gleichzeitiges Produkt der Erosionsarbeit und jener grossartigen Bewegungen innerhalb der Erdkruste, durch welche das Gebirge überhaupt entstand, erkennen zu können.

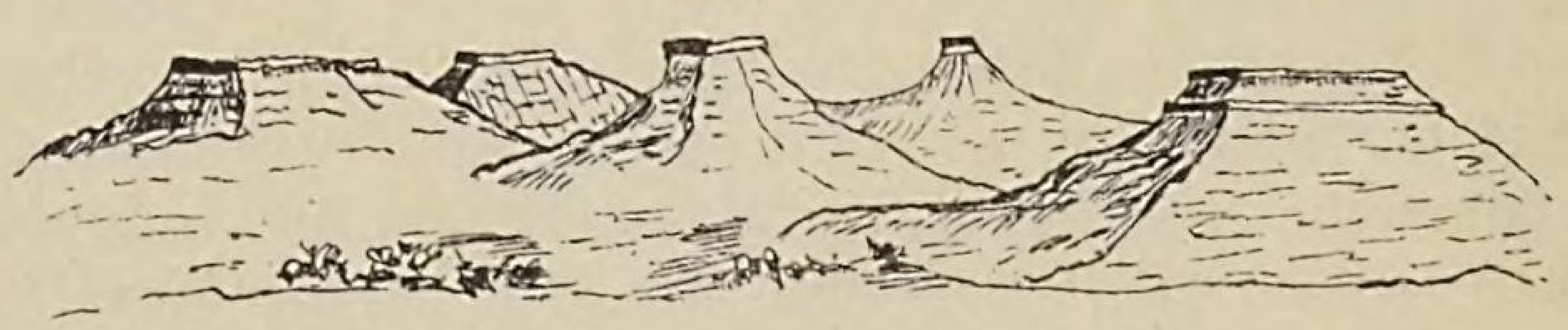
Weitere Studien über diese Terrainformen würden uns zu demjenigen Landschaftsbilde führen, für welches die Bezeichnung *Verkarstung* üblich geworden ist. Da hier aber noch manche andere Umstände mit hereinspielen, so wird es sich mehr empfehlen, diesen Gegenstand dem nächsten Abschnitte vorzubehalten und nunmehr die erosiven Agentien, jede für sich, als Objekt der physikalischen Geographie ins Auge zu fassen.

Erosion des Windes. Auf die nicht geringe Bedeutung, welche der *Winderosion* zukommt, ist man erst in neuester Zeit, hauptsächlich durch *v. Czerny, v. Richthofen, Walther*, recht aufmerksam geworden. Der Betrag der Erosion hängt von der Stärke ab, mit welcher der Wind auf eine Fläche trifft, ist also unter sonst gleichen Umständen dann am grössten, wenn die betreffende Fläche normal zur Windrichtung steht. Als zweiter Faktor tritt der Widerstand auf, welchen die Gesteinspartikeln ihrer Absplitterung und Fortführung entgegensetzen. Die Aktion des Windes hat, verglichen mit derjenigen des fliessenden Wassers, ihre Besonderheiten; einerseits ist der Umfang, auf welchen sich die Zerreibung der oberflächlichen Felspartien erstreckt, ein sehr grosser, da es kaum ganz unzugängliche Stellen für die bewegte Luft gibt; andererseits aber ist das Windtreiben in jenem Masse, das allein zu deutlich wahrnehmbarer Ab- und Ausschleifung führt, räumlich an Küsten und sehr trockene Gegenden gebunden. Indem der Wind an einem bestimmten Orte sein Zerstörungswerk schon beendet hat, ist ihm auch die Fähigkeit zum Fortsetzen desselben gewachsen, denn die Luft hat sich jetzt bereits mit einer Menge kleiner polyedrischer Gesteinssplitter beladen, von denen sie, als von Projektilen, Gebrauch gegen die Hindernisse macht. Kalkstein überzieht sich unter dem Einflusse dieses Bombardements, wie *v. Richthofen* bemerkte, mit einem feinen Netzwerke von Furchen; Massengesteine erhalten eine rauhe, unregelmässige Oberfläche.

Walther schlägt vor, die äolische Zerreibung der Gesteine

Deflation zu benennen; mit diesem Namen wird sowohl die Zerstörung selbst als auch die Abfuhr der aus ihr erwachsenen lockeren Materialien zusammengefasst. In der Wüste werden durch Deflation tiefe Gruben und Kessel ausgehoben, deren Existenz, wenn dann noch erodierendes Wasser hinzukommt und die Kesselwände anschneidet, das ganze hydrographische System einer Gegend zu verändern imstande ist. Den anstehenden Granit, den wir Europäer in Form sanfter Buckel aufstreben zu sehen gewohnt sind (S. 97), modelliert die Deflation so gründlich aus, dass die abenteuerlichsten Gebilde, Kopien von Tierleibern und menschlichen Physiognomien, zustande kommen. Ein sehr auffallendes Erosionsprodukt sind auch die von den Arabern als *Zeugen* bezeichneten Erhöhungen, niedrige Berge, die in grösster Regelmässigkeit die stereometrische Form einer abgekürzten Pyramide, resp. eines Kegelstumpfes nachahmen (vgl. in *Fig. 133* eine solche Zeugenlandschaft vom Nordrande der libyschen Wüste). Solche Hügel entstehen nur da, wo harte Schichten

Fig. 133.



mit weicheren wechsellagern, und zwar entspricht die Höhe eines Zeugen *der Mächtigkeit der weicheren Gesteinsschichten zwischen zwei schwerer zerstörbaren Bänken.*

Zweifellos sind auf den uns hier beschäftigenden Faktor auch die *Fuldjes* zurückzuführen, eine Eigentümlichkeit der arabischen Sandwüste *Nefud*, mit welcher uns Lady *Blunt* bekannt gemacht hat. Es sind Vertiefungen von der Art eines Pferdehufes, nach der Zehe zu mit steil abfallendem Rande, gegen die Hacke hin aber allmählich steigend, am Boden von Wasserrinnen durchfurcht. Nach dem, was wir vorhin, auf *Walther*s Angabe hin, über die exkavierende Aktion des Wüstenwindes zu berichten hatten, bleibt hier sicher nur an Winderosion zu denken, obwohl wir uns allerdings keine Rechenschaft darüber zu geben vermögen, warum dieselbe an einzelnen Stellen mit so ganz besonderer Kraft einsetzt.

Endlich muss hier noch der bekannten *Dreikanter* gedacht werden, eckig — nicht selten tetraedrisch — abgeschliffener Gesteinsbrocken, welche im Diluvialgerölle vielfach vorkommen und von *Berendt, Heim* und anderen Forschern eingehender Beachtung gewürdigt worden sind. Der Fundort legte es nahe, an eine Mitwirkung des Eises bei der Entstehung dieser Gebilde zu denken, doch scheint in Wahrheit, wie *Mickwitz* und *Heim* betonen, die eigentümliche *Facettierung* dieser Steine nichts anderes als eine Sandschlifferscheinung zu sein. Der vom Winde über den Boden weggepeitschte Sandstrom staut sich an den kleinen Inseln, welche ihm im Wege liegen, und zeichnet in deren Seitenflächen die erwähnten Rippen und Streifen ein.

Erosion des fliessenden Wassers. Wer sich der Thatsache nicht erinnerte, dass nicht sowohl momentane Kraftentfaltung als vielmehr lange fortgesetzte, wennschon an sich vielleicht weit minder intensive Arbeitsleistung in der Natur die grössten Erfolge zu verzeichnen hat, der würde von der *Erosion durch senkrecht niederfallendes Wasser,* also durch *Wasserfälle* (S. 356), grosse Effekte erwarten müssen. Solche sind jedoch in der Regel nicht vorhanden; so wenig, diese hübsche Parallele deutet *v. Fritsch* an, von einer zur Parade ausgerückten Truppe grosse kriegerische Leistungen zu gewärtigen sind, ebensowenig kommt bei dieser grossartigen Schaustellung der erosiven Agentien etwas wirklich bedeutendes heraus. Eine gewisse Zerklüftung des Gesteines, welches von der jäh herabstürzenden Wassermasse getroffen wird, tritt freilich ein, aber erstens geht die Aushöhlungsarbeit ziemlich langsam vor sich — der Niagara-Fall erodiert nur ungefähr 30 Kubikmeter Felsgestein im Jahre —, und zweitens ist es nicht sowohl der direkte Anprall, was den Zusammenhang der Gesteine lockert, als vielmehr eine andere Art der Wasserbewegung. Um dies richtig zu verstehen, haben wir zwei sehr abweichende Modalitäten der fluviatilen Erosion auseinanderzuhalten: jene Denudation, welche eine natürliche Folge des einfachen Fliessens ist, und für welche sich die Geophysik des Namens *Korrasion* bedient, und die ganz anders geartete Aufarbeitung von Festkörpern, welche durch wirbelnde Bewegung des — noch dazu vielleicht Schleifmaterial in sich tragenden — Wassers bedingt ist und künftighin als *Evorsion* bezeichnet werden möge.

Denken wir uns, die Fläche, längs welcher Regenwasser abläuft, sei eine ganz nach dem geometrischen Gesetze gebildete schiefe Ebene, so werden in dieser gleichmässige parallele Rinnen entstehen. Ein gleiches würde der Fall sein, wenn die Fläche wie ein senkrechter Zylinder gestaltet wäre, und auf einem Kegelmantel würde das Wasser in Rinnen ablaufen, die nach der Spitze des Kegels konvergieren. Jedes noch so kleine Hemmnis lenkt einzelne der Kanäle von ihrem normalen Laufe ab und lässt verschiedene Abflusssysteme sich herausbilden. Wie diese Rinnen allgemach zu wirklichen Thälern werden, das wollen wir hier noch nicht erörtern (s. den nächsten Abschnitt); nur daran wollen wir erinnern, dass sich, theoretisch betrachtet, ein vollständiges Ende der erosiven Arbeit einstellen wird, wenn sich das Wasser in seine Unterlage eine gekrümmte Rinne, eine *Erosionsterminante* nach *Powell* und *Philippson*, eingegraben hat [1]), deren mathematische Kurvenform sich natürlich nur unter vielen einschränkenden Voraussetzungen angeben lässt.

Bis hierher war wesentlich die *grabende Thätigkeit* des Wassers Gegenstand der Betrachtung; wir verfolgten die Korrasion nach

[1]) Von einem Falle des Erlöschens der Erosion war vorhin, bei der Karbildung, die Rede. Im Oberlaufe der *Flüsse* hingegen ist jener Endzustand noch nirgends erreicht, wie man durch fortlaufende Messung der Eingriffe des Flusswassers in seinen Untergrund konstatieren kann. *Gruber* z. B. berechnet, dass die Isar in der Nähe von Mittenwald die Sohle ihres Bettes in 60 Jahren um 1,4 m erniedrigt hat, also in lebhaftester Korrasionsarbeit begriffen ist.

Richtungen, welche ungefähr mit der Vertikale übereinstimmten. Dabei hat es jedoch nicht sein Bewenden, vielmehr greift die Korrasion auch unausgesetzt die Wände der ursprünglich von ihr gebildeten Laufrinne an, und nicht minder ist sie beschäftigt, die Tiefe des Kanales nach rückwärts zu vergrössern, also *stromaufwärts zu arbeiten*. Dies ist, um *Loewl*s sehr passend gewählten Ausdruck zu adoptieren, die *rückläufige Erosion* des Wassers. Dieselbe hat insonderheit auch das *chronische Zurückweichen der Wasserfälle* zur Folge; ebenso trägt sie dazu bei, die Steilböschung der Wand, von welcher das Wasser herabkommt, mehr und mehr zu vermindern, den Wasserfall in eine gewöhnliche Stromschnelle umzuwandeln und am Ende ungeheurer Zeiträume das ganze Stromgerinne in eine sanft geneigte Ebene überzuführen. Man kann von einer ganzen Anzahl bekannter Wasserstürze mit einiger Sicherheit angeben, um wie viel in einer gegebenen Zeit dieselben kraft der eigenen Auswaschungsthätigkeit *zurückweichen*. Beim *Niagara* z. B. beträgt dieses Zurückschreiten, nach *Lyell*s Berechnung, jährlich $^1/_3$ m, so dass mithin, Gleichförmigkeit des Abbröckelungsprozesses vorausgesetzt, nach gegen 110000 Jahren die Fallbewegung gleich beim Austreten des Flusses aus dem Erie-See beginnen würde[1]). Ueberhaupt ist, wie *Chisholm* hervorhebt, für das Zustandekommen von Stromschnellen und Katarakten der Wechsel härteren und weicheren Gesteines bestimmend, so dass besonders in solchen Gebirgen, welche sich aus Urgestein und krystallinischen Schiefern zusammensetzen, die Wasserfälle häufig erscheinen.

Ein sehr interessanter Spezialfall der Erosion durch fliessendes Wasser ist derjenige, welcher sich in der Aushöhlung *sublakustrer und submariner Flussfurchen* darbietet. Wie sich, wenn solche vorhanden, das Eindringen des strömenden Wassers in diesen Hohlraum äusserlich offenbart, davon ward schon früher (S. 355) gesprochen; nunmehr handelt es sich um die Entstehung dieser Stromkanäle. *Forel*, der dieselben beim Einflusse des Rheines sowohl als auch des Rhone in sein bezügliches Läuterungsbecken untersucht und, auf grund der Lotungen *Hörnlimann*s, festgestellt hat, dass diese Furchen 4, resp. 6 km weit sehr deutlich erkennbar sind, dachte zuerst an eine unmittelbar erosive Leistung der Ströme, welche sich in den höher gelegenen Teilen der Mündungsgegend regelmässiger und mithin auch erfolgreicher geltend mache, als in den tiefer gelegenen. Später hat *Forel* diese Ansicht zu gunsten einer anderen aufgegeben[2]), aber es ist gar nicht unmöglich, dass

[1]) Allerdings darf man nicht vergessen, dass beim Niagara eigentlich zwei Fälle unterschieden werden müssen, welche sich in obiger Beziehung keineswegs gleichmässig verhalten. *Wessen* ermittelte, dass für den sogenannten kanadischen Fall der Jahresrückgang ungefähr dreimal so gross ist, als für den amerikanischen Fall.

[2]) *Forel* und *Odin* haben nämlich herausgebracht, dass in den meisten Monaten das Rhonewasser dichter ist, als das schwerste Seewasser, so dass ersteres an der Böschung des Aufschüttungskegels unaufgehalten dahinströmt. Diese Bewegung soll wirbelerzeugend wirken, und hiedurch soll da, wo sich die Geschwindigkeit vermindert, zu einer Ablagerung der mitgebrachten Sedi-

erstere bei Vielen den Vorzug vor der zweiten behauptet, wennschon zugegeben werden mag, dass die Ursachen, welche *Forel* später in den Vordergrund rückte, bei der Austiefung des einmal angedeuteten Bettes mitwirken können. In die gleiche Klasse von Erosionserscheinungen haben wir die submarinen Thäler zu stellen, welche nach *Issel* mehrfach die Küstenterrassen Liguriens durchschneiden, sowie die unter die Meeresfläche hinab reichende Fortsetzung des tief eingeschnittenen Kongo-Thales, welche *Buchanan* entdeckt hat [1]).

Selbstverständlich greift fliessendes Wasser auch die Seitenwände des Gerinnes an, in welchem es sich fortbewegt. Nur dann, wenn das Flussbette in ein Terrain von völlig gleichmässiger petrographischer Beschaffenheit eingeschnitten wäre, und selbst dann nur bedingt (s. u.), würde der Lauf des Flusses ein gradliniger sein können, während, sobald nur erst einmal eine Abweichung von dieser Gradlinigkeit eingetreten ist, der Strom nicht rastet, bis er den Krümmungshalbmesser der Biegung möglichst verkleinert und die Anzahl der Stromknie vermehrt, sich selbst also den bekannten *Mäanderlauf* geschaffen hat. Die schon im vorigen Jahrhundert von dem russischen Reisenden *Slowzow* ausgesprochene, durch den bekannten Naturforscher *K. E. v. Bär* eingehend erforschte Eigentümlichkeit der Flüsse, *dass das rechte Flussufer steiler und abgenützter als das linke* (wenigstens auf der Nordhalbkugel) *sein soll,* scheint sich nicht ganz in abrede stellen zu lassen, obwohl *Zöppritz* ganz richtig den sehr geringen Betrag berechnete, um welchen infolge der aus der Erdumdrehung hervorgehenden Tendenz nach rechts das Wasser an der rechten Flusseite höher sein soll, als an der linken. Für die grossen sibirischen Flüsse ist die Thatsache wohl sichergestellt, und an der Donau haben *Suess* und *Penck* ähnliche Wahrnehmungen gemacht, wie denn der letztgenannte ausdrücklich bemerkt, dass da, wo die Donau sich schlängelt, die Prallstellen zur rechten durchweg tiefer als zur linken zu sein pflegen. Dem sogenannten *Bärschen Gesetze* wird man mithin die Berechtigung nicht ganz abstreiten dürfen, doch hat sein Urheber es unter allen Umständen überschätzt und namentlich ein nicht begründetes Gewicht auf das Azimut der Laufrichtung gelegt, welches doch, wie wir sahen, aus der Deviationsformel (S. 238) gänzlich ausfällt [2]).

mente führen. Der Kanal entstünde danach also weniger durch Austiefung des Untergrundes, als dadurch, dass sich auf diesem sozusagen natürliche Mauern erhöben.

[1]) *Powell* behauptet, dass die Korrasion (s. o.) um so grösser ist, eine je grössere schwimmende Last von Festkörpern das Gewässer mit sich führt. Hiedurch wird es, wie wir glauben, leicht verständlich, dass grosse Flüsse, die reich an Geschieben sind, sowohl unter freiem Himmel, als auch dann, wenn ihr eigenes Wasser unter fremdem verschwunden ist, korradierend wirken. Nur bemerkt sei, dass *Ch. Darwin* in den Treibeisschollen der polaren Meere die Ursache der in diesen sich zum öfteren findenden submarinen Rinnen hat suchen wollen.

[2]) Geklärt ist die ganze Frage noch keineswegs, und kein noch so hoch stehender Forscher hat das Recht, mit einem vielleicht nicht einmal ganz

Auch haben neuerdings *Rucktäschel* und *Köppen* es einigermassen wahrscheinlich gemacht, dass die vorherrschenden Winde eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen, indem sie in vielen Gegenden das Flusswasser auf das rechte Ufer geradezu hindrängen.

Soviel von der Korrasion, auf welche uns ja die Probleme der Thalbildung im nächsten Abschnitte ganz von selbst wieder zurückführen werden. Wenn auch die Evorsion auf die Herausbildung der gegenwärtigen Konfiguration der Erdoberfläche durchaus nicht im gleichen Masse entscheidend eingewirkt hat, so konnte und kann sie doch lokal sich recht kräftig äussern; sie bildet die *Strudellöcher, Riesenkessel, Gletschertöpfe,* welche eine für Glazialwirkungen allzu begeisterte Zeit wesentlich auf eiszeitliche Ausschürfungen der Gletscher zurückführen wollte. Es kann und soll gar nicht geleugnet werden, dass derartige Hohlgebilde nicht selten in der Moränenlandschaft vorkommen (*Gletschergärtchen* bei Luzern)[1], dass die als Gletschermühlen (S. 386) uns bekannten Strudel recht wohl das unten liegende Gestein in solcher Weise angreifen können, ja dass auch direkte Einwirkung des Eises denkbar ist[2]. Allein notwendig sind alle diese Vorbedingungen nicht. Auch darin ging man zu weit, dass man dem Strudelwasser, dem man für sich allein solch stattliche Leistungen nicht zutraute, einen oder mehrere Gehilfen beigab in der Gestalt sogenannter *Mahlsteine*, abgerundeter Steine, wie man sie vielfach auf dem Grunde der ausgewirbelten Hohlräume liegen sieht. Wir schliessen uns, soweit diese angeblichen Hauptfaktoren in frage kommen, der Anschauung *v. Nordenskiölds* an, welche derselbe folgendermassen formuliert: „Die Kessel entstehen meist an solchen Stellen, wo mit Grus untermischtes Wasser auf die eine oder andere Weise an ein und derselben Stelle längere Zeit hindurch in rotierender Bewegung ist, so z. B. durch Wirbel in Wasserfällen, durch den Wogenschwall am Strande, ja sogar durch die Drehbewegung, in welche der Wind das Wasser

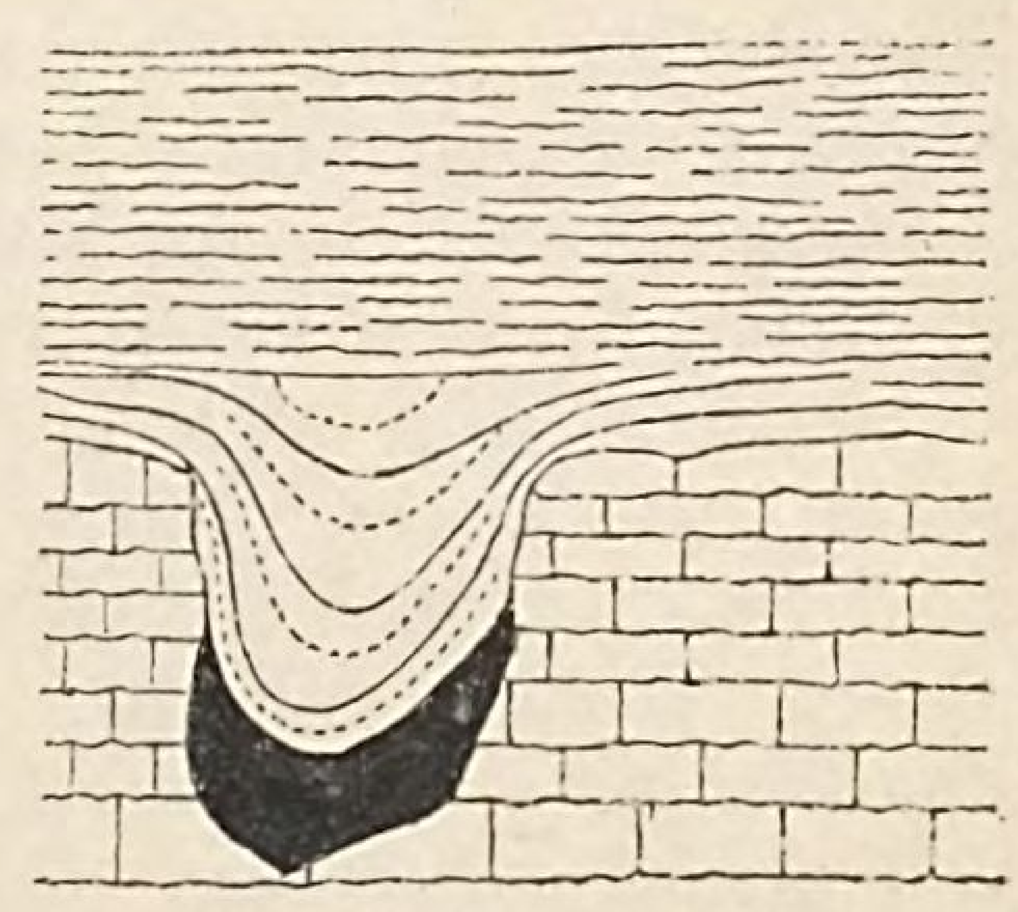
passenden Schlagworte die Entscheidung zu bringen. Vielmehr gilt uns *Wisotzkis* sehr beherzigungswerter Ausspruch (Hauptfluss und Nebenfluss, Stettin 1889. S. 110): „Erst nach eingehendster qualitativer wie quantitativer Analyse der die Ufergestaltung jedesmal bedingenden Faktoren wird man zu einer endgiltigen Stellungnahme dem *Bär*schen Gesetze gegenüber gelangen.“ *Gilbert* zieht aus seinen mathematischen Ueberlegungen den Schluss, dass der Betrag der Flusskrümmungen allerdings durch die Erdrotation beeinflusst werden kann, und zu einem nicht sehr verschiedenen Resultate kommen ihrerseits auch *Baines* und *Fontès*.

[1]) Dass die Luzerner Riesentöpfe in einer der grossen Uebereisungsperioden durch die „pfropfenzieherartige“ Aktion eines grossen Inlandgletschern entströmenden Baches entstanden, leidet keinen Zweifel, und ein gleiches darf auch für den schönen, der Schleifsteine jedoch entbehrenden Kessel angenommen werden, den *Pfeifer* im Moränengebiete des diluvialen Rheingletschers (nahe bei Ueberlingen) untersuchte. Schwerlich aber ist der grosse Riesenkessel, den nach *v. Nordenskiöld* ein 500 m hoher Berg Spitzbergens auf seinem Gipfel trägt, diesen Erzeugnissen der Gletschermühlbäche anzugliedern.

[2]) Gewisse Löcher der Felsen auf den Elisabeth-Inseln z. B. bringt zwar *Dana* mit der Evorsion, *Knoos* dagegen mit Eisblöcken in Verbindung, welche die fortrückende Moräne in die darunter befindlichen lockeren Massen hineingedrückt haben soll.

in den Vertiefungen auf einem Granitfelsen [1]) versetzt.“ Polyedrische Steinbrocken, welche von ungefähr in einen Wirbel hineingerieten und nunmehr in demselben festgehalten wurden, schliffen sich in der bekannten Weise ab und leisteten natürlich auch zur Glattscheuerung der Kesselwände ihren Beitrag, aber der schliessliche Effekt wäre auch ohne sie erzielt worden.

Fig. 134.



Auch die *geologischen Orgeln* können kaum auf eine andere Art der Entstehung anspruch machen. Es sind dies Aushöhlungen im anstehenden Gesteine, in welche sich die darüber ruhende Lehmmasse zapfenförmig hineingedreht hat. *Brogniart* und *Prestwich* haben solche Orgeln zuerst beschrieben; von ihrem Wesen gibt *Fig. 134*, eine von *Penck* bei Crimmitzschau in Sachsen aufgefundene „Erdpfeife“ darstellend, eine gute Vorstellung. Wir möchten insonderheit auf die eigenartige Schichtenkrümmung im Inneren des Geschiebelettens aufmerksam machen.

Glaziale Erosion. Vor etwa vierzig Jahren begann sich unter den Geologen, vorwiegend unter dem Einflusse *Tyndalls*, *Ramsays*, *De Mortillets* u. a., eine Richtung geltend zu machen, welche geneigt war, den sich über Felsgrundlage fortschiebenden Gletschern eine sehr ausgiebige Erosionswirkung beizulegen; man liess Thäler und Seebecken durch Gletschereis *ausgepflügt* werden, ohne sich viel um die physikalischen Bedingungen einer solchen Aktion zu bekümmern. Es kann nun wohl in der That nicht geleugnet werden, dass die fortrückende Eismasse den Untergrund einigermassen abnützt und oberflächlich zerstört, denn sonst wäre ja das Dasein der Grundmoräne (S. 391) unerklärlich; auch ist festgestellt, dass bei hinreichend schneller Bewegung selbst der weichste Körper dem härtesten Substanzverluste beibringt. Eine so bedeutende Geschwindigkeit freilich, wie sie in diesem Falle erfordert würde, wollte man auch den Diluvialgletschern nicht zuschreiben, und so bildete sich, insbesondere durch *Penck*, eine modifizierte Auffassung des Wesens der Glazialerosion heraus: *Festkörper, welche der Gletscher mit sich fortführt, zerreiben das Gestein, indem sie unter dem gewaltigen Drucke, welcher auf ihnen lastet, sich in dasselbe einbohren.* Nachdem einmal die ersten Gesteinspartikeln losgelöst, gewissermassen die Elemente zur Grundmoräne gegeben sind, wirkt dann diese letztere, vom Gletscher mit fortgewälzt, selbst

[1]) *Hübler* erzählt, dass man früher gewisse kreisrunde Höhlungen im Granit des sehr regenreichen Isergebirges für künstliche Eingriffe des Menschen, für altslavische Opferstätten gehalten habe, während man dieselben später als das, was sie sind, nämlich als Erosionserscheinungen, betrachten lernte.

als Schleifmittel mit. Von neueren Forschern ist hauptsächlich *Böhm*, auf grund seiner im alten Vergletscherungsgebiete der Enns und Steyr gemachten Wahrnehmungen, für eine bis zur Thalausfurchung sich steigernde Erosionsthätigkeit mächtiger Gletscher eingetreten, während *Heim, F. W. Spencer, Freshfield,* welche bezüglich in den Alpen, in den norwegischen Gebirgen und im Kaukasus ihre Studien vorgenommen haben, sich dafür aussprachen, *dass eine gewisse erosive Arbeit des Gletschers allerdings erkennbar sei, sich jedoch in bescheidenen Grenzen halte.*

Stellt man sich auf den physikalischen Standpunkt, der, da geologische Beobachtungen doch zumeist einer mehrfachen Deutung fähig sind, gewiss die Grundlage für alles theoretische Forschen auf diesem Gebiete abgibt, und an den sich insbesondere *Oldham, Zöppritz* u. a. gehalten haben, so gelangt man, wenn ausschliesslich *Druckverhältnisse* ins Auge gefasst werden, und wenn die Gletschermasse als über einen vorläufig noch vollkommen glatten Grund fortgleitend angenommen wird, zu einem wesentlich negativen Ergebnisse. Wäre das Eis ein starrer Körper, was es nicht ist, so würde der Druck, den es auf seine Unterlage ausübt, und diesem darf wohl die Inanspruchnahme des Materiales dieser Unterlage proportional gesetzt werden, allerdings stetig mit der Masse zunehmen, allein selbst unter dieser den Ansichten der strengen Glazialgeologen am weitesten entgegenkommenden Bedingung sprechen *Oldhams* Rechnungen nicht zu gunsten einer stärkeren Aufarbeitung. Das Gletschereis ist nun aber nicht starr und spröde, sondern es ist plastisch, *und in einer gegen Druck hochgradig nachgiebigen Masse müssen sich die an der Grenzfläche zwischen plastischem und starrem Körper statthabenden Pressungen in ganz anderer Weise äussern.* Es entsteht in dem teilweise in das Gletschermassiv eingebackenen, teilweise aus dessen Unterfläche hervorragenden Fremdkörper eine Art von Auftrieb, und es wird der Körper, bei sich steigerndem Drucke, sich weit energischer in das ihm wenig Widerstand leistende umgebende Eis als in den unnachgiebigeren Felsboden einbohren, obwohl leichtere Eindrücke natürlich auch im letzteren zurückbleiben müssen.

Freilich aber, und darauf haben wir jetzt zurückzukommen, wurde von uns bisher nur auf den Druck selbst bedacht genommen, und es wurde von den Körpern, auf welche der Druck wirkt, gleicherweise angenommen, dass sie sich in einem durchaus normalen, ihren Kohäsionszusammenhang auch in den oberflächlichen Schichten bewahrenden Zustande befänden. Davon, dass diese Partien bereits bis zu einem gewissen Grade zerstört, verwittert und also den von oben einwirkenden Zerstörungskräften gegenüber wenig widerstandsfähig sein könnten, war keine Rede, und doch ist die Möglichkeit, dass es sich so verhalte, durch die Versuche von *Finsterwalder* und *Blümcke* uns in jüngster Zeit recht nahe gerückt worden. Die allseitig gehegte Meinung nämlich, dass es eines längeren Zeitraumes bedürfe, bis das Frieren und Wiederaufthauen des in Gestein eingedrungenen Wassers jenes zu beeinflussen, seinen

molekularen Zusammenhang zu lockern vermöge, trifft nicht zu, vielmehr löst sich, den angeführten Experimenten zufolge, schon bei *einmaliger Frostwirkung* eine dünne Lage mikroskopisch feinen Verwitterungssandes ab, deren Menge sich freilich nach der Gesteinsart wechselt und bei Sandstein viel grösser als bei Granit ist, aber auch bei diesem nicht gänzlich fehlt. Wenn man nun die Aufschlüsse mit berücksichtigt, welche uns oben (S. 383) bezüglich der Temperaturverteilung im Inneren des Gletschers zu teil geworden sind, so muss man vermuten, dass die Verwitterung auch am Gletschergrunde unausgesetzt fortschreitet. Dass dann aber, wenn die Gesteinsschicht, mit welcher der Gletscher in steter Berührung sich befindet, schon einigermassen aufgelockert ist, die an sich geringe Reibkraft, welche unseren obigen Betrachtungen gemäss dem Eise und den damit verkitteten Steinfragmenten zuzusprechen ist, immerhin zu viel bedeutenderen Erfolgen es bringen kann, liegt auf der Hand. Durch die Untersuchungen von *Finsterwalder* und *Blümcke* über die selbst bei hartem Felsgesteine nur *minimale Frostständigkeit* ist somit entschieden ein neues Ferment in die etwas ins Stocken geratene Frage nach Wesen und Umfang der glazialen Erosion hineingetragen und vorab die Bildung der Grundmoräne in ein helleres Licht gesetzt worden, ohne dass doch jene älteren allzu phantastischen Vorstellungen von der ausschürfenden Aktion der vorzeitlichen Gletscher dadurch an Wahrscheinlichkeit gewonnen hätten.

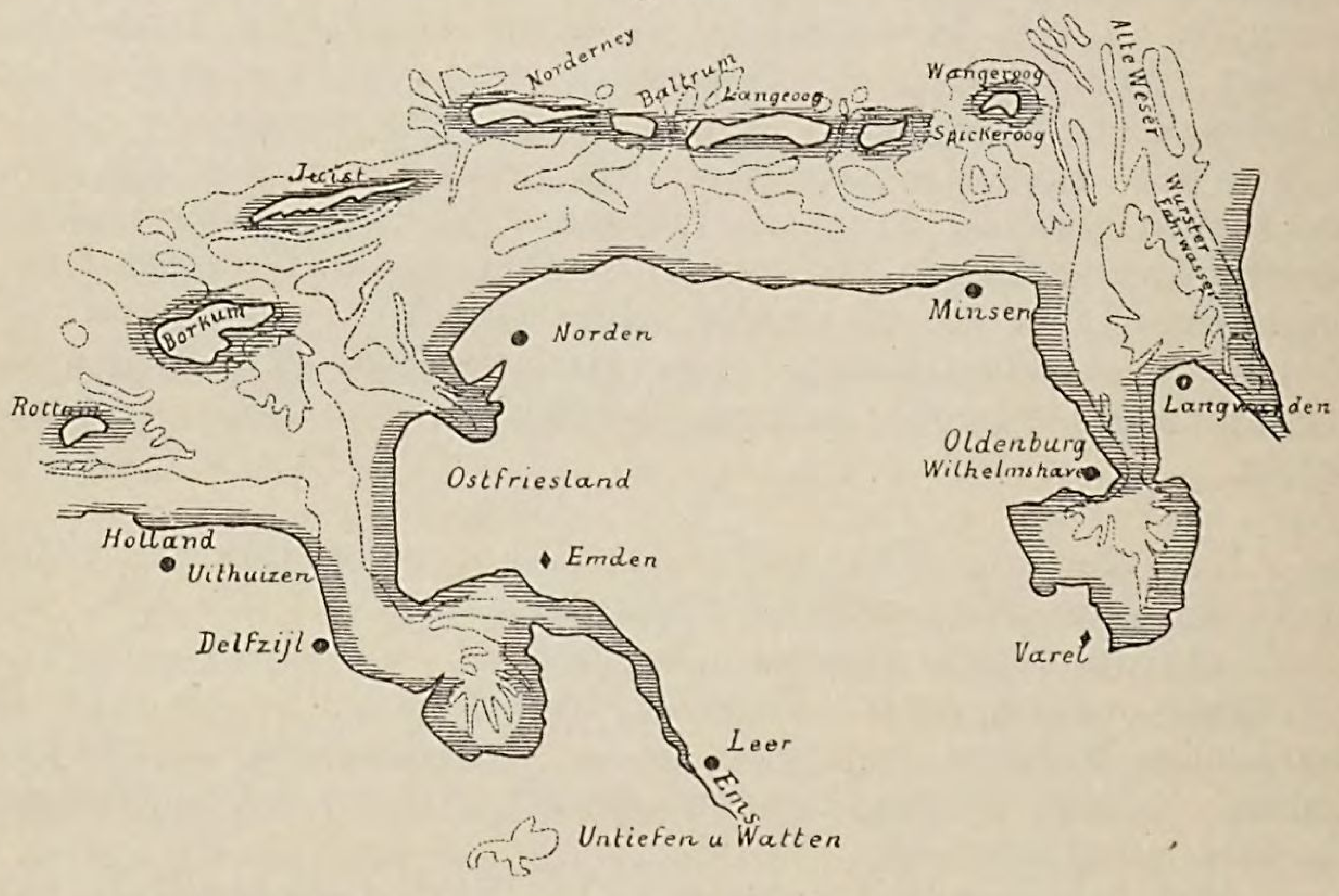
Zerstörende Eingriffe des Meeres in das Festland. Wohl die grossartigsten Zerstörungseffekte bethätigt das *Meer*, welchem in den verschiedensten Beziehungen eine erosive Wirkung zuerkannt werden muss. Dieselbe äussert sich aber in sehr abweichenden Formen, und zwar ist die Verschiedenheit vorwiegend dadurch bedingt, ob den Angriffen des Meeres eine *Flach-* oder eine *Steilküste* ausgesetzt ist.

Wir beginnen mit ersterer. Die Brandungswoge löst, wenn sie durch heftigen Wind gepeitscht wird, nicht bloss in langdauernder Arbeit kleinere, sondern mit einem male gleich grössere Stücke der Küste ab, welche vorher bereits benetzt, unterspült und auch landeinwärts durch das mit dem Grundwasser sich vermischende Meerwasser in ihrem Zusammenhange mehr oder weniger gelöst waren [1]. Sehr belehrend ist das Studium der holländisch-deutschen Nordseeküste, von deren Aussehen in früheren Jahrhunderten wir durch Beschreibungen und Karten von leidlicher Genauigkeit gut genug unterrichtet sind, um die Fortschritte der Meereserosion verfolgen zu können. Von der Zuyder-See z. B. war noch um Christi Geburt der beiweitem grössere Teil festes Land, so dass dort seit

[1]) Es ward bereits (S. 170) darauf hingewiesen, dass ein mit einem Drehsturme sich vergesellschaftendes Erdbeben möglicherweise jene gewaltige Ueberflutung und Landabspülung zur folge hatte, die wir mit dem Namen der Sintflut belegen.

Cäsars Zeit ungefähr 3600 qkm den Fluten zum Opfer gefallen sind. Ebenso kennzeichnet der Kranz der die hannöverisch-oldenburgische Küste umsäumenden *friesischen Inseln* (*Fig. 135*) den dereinstigen Rand des Kontinentes, in welchen durch Sturmfluten unzählige Lücken gerissen worden sind. Die grosse Menge sogenannter *Watten*, d. h. solcher Meeresstellen, welche nur bei Flut von Wasser bedeckt, zur Ebbezeit dagegen gefahrlos zu begehen sind, ist aus unserem Kärtchen zu ersehen und kennzeichnet die Art und Weise, in welcher die Erosion der Brandungswoge ein flaches, aber doch aus Bestandteilen von grösserer und geringerer Resistenz sich zusammensetzendes Gestade in angriff nimmt. Die Insel Borkum, gegenüber der Emsmündung, war noch im IX. Jahrhundert erheb-

Fig. 135.



lich grösser, als wir sie heute vor uns sehen, wie denn der die West- und Osthälfte verbindende Isthmus jetzt bereits nur bei Niedrigwasser noch gut begehbar ist. Wangeroog, die östlichste der Inseln, hat sich noch 1854 einen beträchtlichen Verlust gefallen lassen müssen. Noch schlimmer sieht es an der schleswig-holsteinschen Küste aus, längs deren die bekannten *Halligen* verstreut sind. Sie alle sind, trotzdem ihre Bewohner mit rastloser Emsigkeit an der Verfestigung der auf den Eilanden erbauten künstlichen Hügel (*Warfen* oder *Terpen* genannt) arbeiten, ausnahmslos dem Untergange verfallen, und auch die grösseren nordfriesischen Inseln (Sylt, Föhr, Amrum), welche erst im Jahre 1240 ihres Zusammenhanges mit der zimbrischen Halbinsel verlustig gegangen sind, erleiden unaufhörlich Einbussen [1]). Man darf, wenn *Prestels* jedenfalls von gründ-

[1]) Ganz unzulässig ist hingegen die Hypothese von einer dereinstigen Landverbindung Helgolands mit irgend einem Teile der deutschen Festland-

licher Autopsie getragene Angaben richtig sind, annehmen, dass die Küste Ost- und Nordfrieslands sich seit dem Anfange der Quartärzeit im Stadium einer, wenn auch nur langsam fortschreitenden, positiven Strandlinienverschiebung (S. 128) befinden, und dass durch diese der Landverlust befördert werden musste, das bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung.

Die Modalitäten der Meereserosion an Flachküsten stellt eine tief eindringende Untersuchung von *G. K. Gilbert* einigermassen ins klare, obwohl dieselbe ihr Objekt nicht eigentlich in den Ufern der Meere, sondern in denen der amerikanischen Binnenseen sich gewählt hat. Die Wellen, so wird gelehrt, greifen die Küste nicht sowohl selbst an, sondern sie wirken durch die vom Wasser mittransportierten Detritusmassen, mit denen das Festland in ähnlicher Weise bombardiert wird, wie wir dies anlässlich der Erosion des Sandes von den durch den Sturm fortgepeitschten winzigen Gesteinspartikeln erfahren haben. Der rückläufig wendenden Welle (S. 298) folgen die vom Ufer losgelösten Festkörper und vermischen sich später mit dem bereits in der Brandungswoge suspendierten Schlamm- und Schuttmateriale, so dass also die Menge der zur Zerstörung des Strandes dienenden Geschosse eine fortwährende Vermehrung erfährt.

Den Gezeiten als solchen wird von *Gilbert* eine besondere Erosionskraft nicht beigemessen; in diesem Punkte berühren sich seine Anschauungen mit denjenigen, welche sich *Pechuël-Lösche* bei längerem Aufenthalte an der flach verlaufenden Küste des portugiesischen Westafrika (S. 300) gebildet hat. Auch er hält sich überzeugt, dass wesentlich die Brandung es ist, welche, hier durch Loslösung, dort durch Anschwemmung, die im ganzen so rasch sich vollziehenden Gestaltsänderungen der Flachküste bewirkt. Auch die eigentlichen Meeresströmungen sind von nicht besonders erheblichem Einflusse, schon deshalb, weil dieselben mit einer allmählich unter den Meeresspiegel hinabsinkenden Küste gar nicht in unmittelbare Berührung kommen, wohl aber sind, wie *Krümmel* bewies, die *Gezeitenströme* ein bei der litoralen Erosion sehr in betracht kommender Faktor, was auch nach den früheren Eröffnungen über den Stromwechsel zwischen Flut- und Ebbestrom nicht auffallen kann, von denen der erstere abspült, der andere den so entstandenen Detritus in das Meer hinaus führt. Natürlich bethätigt sich jedoch diese Art der Zerstörung, wenn auch nach Art und Mass verschieden, sowohl an Flach- als auch an Steilküsten.

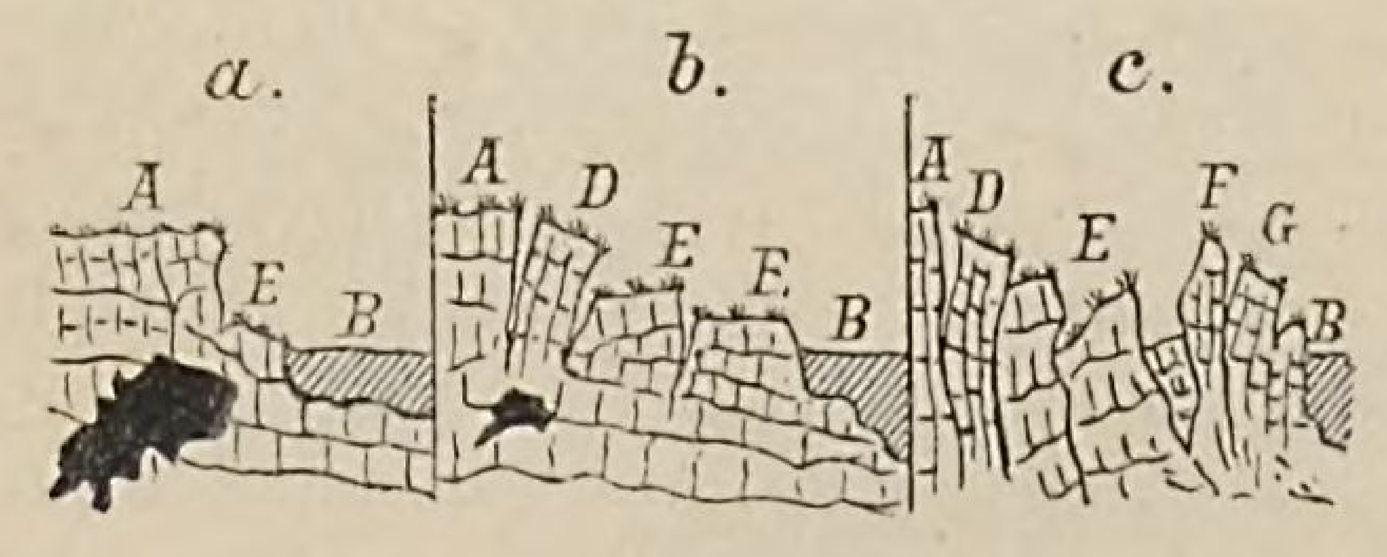
Die Ausnagung flacher Küsten führt dann, wenn der vom

küste. Die Fabel stützte sich auf nichts weiter, als auf eine wesentlich als Phantasiebild aufzufassende Karte Jütlands aus dem XVII. Jahrhundert; *Wiebel, Hahn, O. Schneider* haben diesen Mythus zerstört, der schon den Unterschied zwischen der Felsinsel Helgoland und dem Schwemmlande des Kontinentes gegen sich hat. Die nun wieder zu Deutschland gehörige Insel hat nur eine einzige namhafte Beschädigung durch das Meer erfahren, indem am Neujahrstage 1721 eine Sturmflut die bekannte „Düne“ (Badeinsel) von dem Körper der Hauptinsel abtrennte.

Wellenschlage betroffene Küstenrand nicht aus Materialien von sehr verschiedenartiger Zerstörungsfähigkeit besteht, mehr zu einer Parallelverlegung des Strandes, und nur da, wo Flüsse in das Meer münden, kommt es zur Bildung sogenannter *Lagunen*. Da solche aber wesentlich durch die konstruktive Thätigkeit des Wassers mit bedingt sind, so soll ihnen eine eingehendere Erörterung erst im nächsten Abschnitte zu teil werden. Dagegen verweilen wir noch etwas bei der Entstehung der schmalen und tief ins Inland eingreifenden Einschnitte der Flachküste, welche an der nordalbingischen Halbinsel häufig vorkommen und dort als *Föhrden*[1]) bekannt sind. Man hat gewiss ein Recht zu fragen, ob solch eigentümliche Buchten in der That ausschliesslich als Ergebnis der marinen Erosion aufzufassen seien, und darauf gibt *Haas* die Antwort, dass jene ursprünglich die Thalrinnen wasserreicher, in eine interglaziale (S. 394) Ostsee sich ergiessender Flüsse gewesen sein dürften. Sie seien zu betrachten als *die Produkte der summierten Wirkungen der Erosionsthätigkeit des Inlandeises, des fliessenden und des Meerwassers.* Diese Erklärung scheint den Kern der Sache zu treffen, indem natürlich, wenn unsere Darlegung der Intensität der Glazialerosion (s. o.) der Wahrheit entspricht, die Mitwirkung des ersterwähnten Faktors nur als eine bescheidene angesehen werden kann.

Den naturgemässen Uebergang von den Flachküsten zu den aus anstehendem Gesteine aufgebauten Steilküsten bieten jene Küstenformen dar, welche eine gegen das Meer unter einem grösseren Böschungswinkel abfallende Hügelkette, aus lockerem Materiale bestehend, aufweisen. An solchen Küsten, wie sie am südlichen Strande der Ostsee, sowie am nördlichen Strande des Schwarzen Meeres regionenweise die Regel bilden, hat die Brandung ein verhältnismässig leichtes Spiel; sie unterwühlt die Basis der Höhenzüge und führt nach und nach deren Zusammensturz herbei. Besonders deutlich lassen sich nach *Kohl* die einzelnen Stadien dieses Unterwaschungsprozesses an den *„Obruive“* (Abstürzen) des kleinrussischen Steppenlandes verfolgen, wie dies *Fig. 136* zu verdeutlichen sucht. In *Fig. 136a* ist *A* die hohe, 30 bis 40 m über den Meeresspiegel *B* emporragende Steppe, in deren Fundament eindringendes Meerwasser bereits einen weiten Hohlraum gegraben hat, der bewirkt, dass das am weitesten nach vorne sich erstreckende Stück *E* bereits den Zusammenhang zu verlieren beginnt. In *Fig. 136b* sehen wir die Lockerung bereits auf die Partien *D*, *E*, *F* sich ausdehnen, während

Fig. 136.

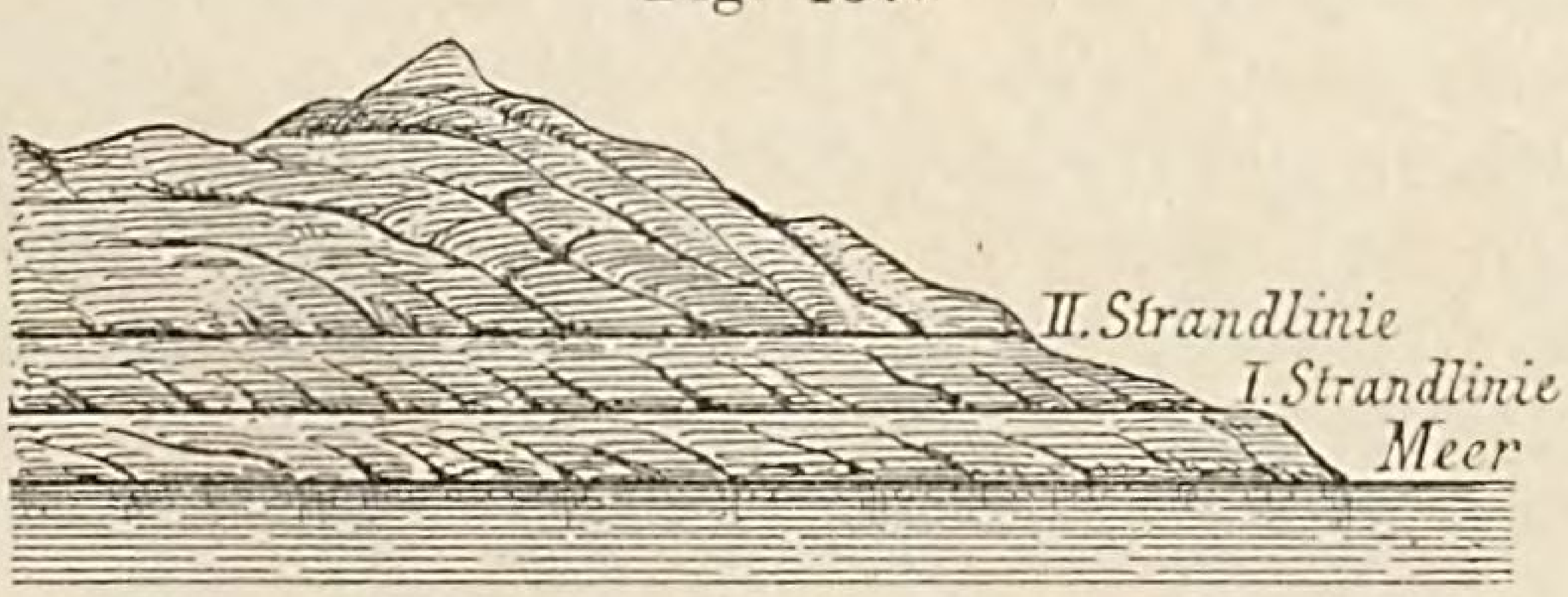


[1]) Dieses niederdeutsche Wort entspringt aus gleicher Wurzel wie das skandinavische *Fjord* und das englische *Firth* (*Firth of Tay*, *Firth of Clyde*); sämtliche Ausdrücke kennzeichnen einen Eingriff des Meeres in das Festland von der Art, dass die Breite gegen die Länge beträchtlich zurücktritt.

die Höhlung durch den Zusammenschub sich verkleinert hat, und *Fig. 136c* stellt uns den Zerfall der Erd-Steilküste in die nur noch schwach ihren Zusammenhang bewahrenden Schollen *A*, *D*, *E*, *F*, *G* vor Augen. Wenn die zusammenstürzenden Erd- und Geröllhügel mit Baumwuchs bedeckt sind, dann führt die Rückströmung die Baumstämme mit in das Meer hinaus, wo sie sich, meist in nicht sehr grosser Entfernung vom Ufer, einbohren und, indem sich Detritus mineralischer und pflanzlicher Art bei ihnen ansammelt, den Anlass zur Entstehung von Untiefen, ja sogar von kleinen Inseln geben. Diese Bewandnis hat es mit den *Baumstubben* der Ostsee, welche demgemäss den berüchtigten *„Snags"* der nordamerikanischen Ströme vergleichbar sind.

Wir wenden uns jetzt denjenigen Wirkungen zu, welche die Brandungswoge *Steilküsten aus Felsgestein* gegenüber äussert. Indem diese Woge in beständigem Rhythmus durch ihre eigene lebendige Kraft, sowie auch durch diejenige der in ihr schwimmenden Festkörper[1]) dem durch die Befeuchtung bereits einigermassen verwitterten Gesteine zusetzt, höhlt sie im Brandungsniveau zunächst eine Rinne von halbzylindrischer Gestalt („rinnenförmige Hohlkehle" nach *v. Richthofen*) aus. Wenn die Zerstörung noch keine weitergehenden Substanzverluste bedingt hat, und wenn zugleich, nachdem jener Einschnitt eine hinlängliche Tiefe erlangte, eine negative Ver-

Fig. 137.



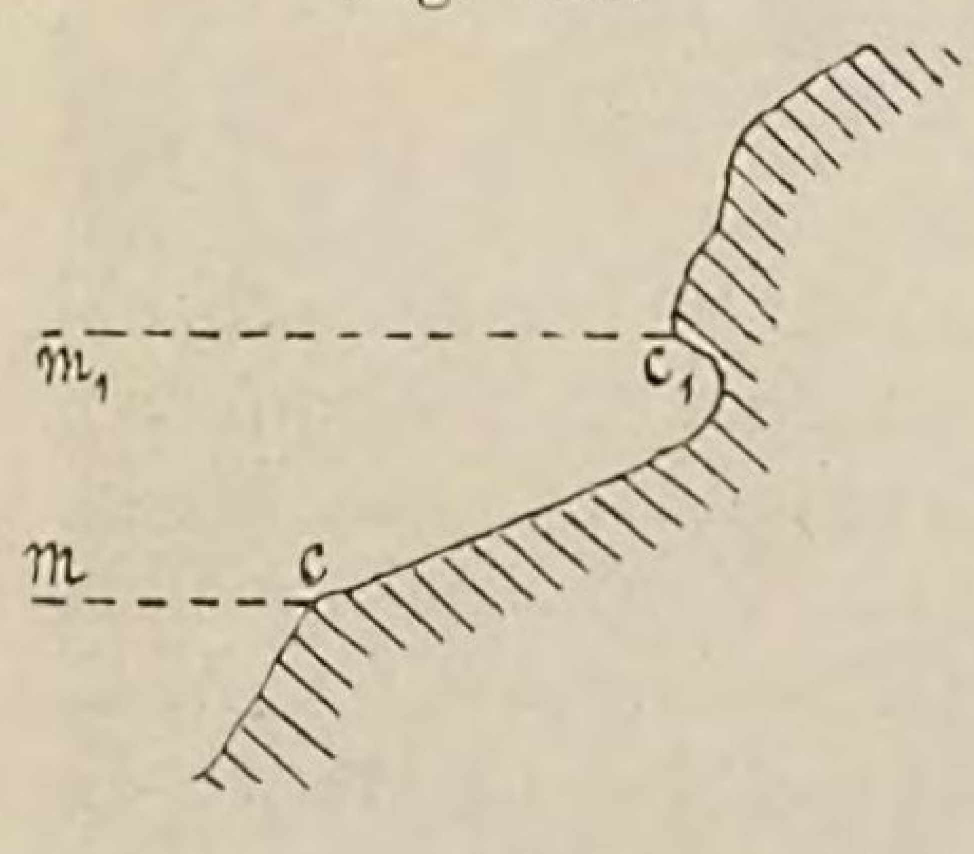
schiebung der Strandlinie stattgefunden hat, so bleibt eine *Strandlinie,* die sich unter Umständen zu einer förmlichen *Strandterrasse* erweitert, als Grenzlinie der ehemaligen Erosionskraft des Meeres, oder, wie man sich wohl auch ausdrückt, als *Scheuermarke* übrig. Man hat solche meist gradlinig verlaufende Erosionsstreifen in den verschiedensten Erdgegenden wahrgenommen; wohl die merkwürdigsten von allen sind diejenigen der norwegischen Westküste, mit denen uns *Pettersen* und *R. Lehmann* näher bekannt gemacht haben, und welche, aus der Entfernung gesehen, auf jeden Unbefangenen den Eindruck gradliniger Strassenzüge (vgl. *Fig. 137*) machen

[1]) Inwieweit *Eisschollen* als Projektile bei der Zerstörung der Küste mitwirken, ist eine noch unentschiedene Frage. Auch die Vegetation beteiligt sich an dem Zerstörungswerke; *Walther* glaubt, dass die Insel Helgoland weit weniger von den Angriffen der Wellen zu befürchten hätte, wenn nicht so viele *Laminarien* oder *Ledertange* auf ihrem Fels angesiedelt wären. An diesem haften die Pflanzen mit grosser Zähigkeit, und indem die Flut die 2 bis 4 m langen Blätter lebhaft hin und her bewegt, lockert sich dabei die Festigkeit der Gesteinspartien; jede herausgerissene Laminarie bröckelt auch Steinfragmente ab.

müssen [1]). Es ist neuerdings die Ansicht, dass alle alten Strandlinien der Meeresbrandung ihren Ursprung verdanken, erschüttert worden durch den von *Hansen* erbrachten Nachweis, dass echte Strandlinien — „*Seter*" nennt sie der Norweger — sich in Höhen von fast 1100 m über dem gegenwärtigen Meeresniveau vorfinden, bis wohin das freie Weltmeer schwerlich je gereicht haben kann. Um dem hiemit aufzeigten Dilemma zu entgehen, ersann *Suess* seine schon früher (S. 131) von uns besprochene *Abdämmungshypothese*, gegen welche aber *Sandler*, der sich die Verhältnisse an Ort und Stelle genau angesehen hat, manches einzuwenden findet. Es müssten danach lückenlose Eisdämme von sehr grosser Ausdehnung — einmal bis zu 65 km — existiert haben, was nicht wahrscheinlich ist; die kleineren Inseln, von denen allein Gletscherströme ausgehen konnten, erscheinen als Nährgebiete von Eismassen von solcher Mächtigkeit zu wenig bedeutend. *Sandler* selbst bringt die sehr hoch gelegenen Strandlinien, die also unter solchen Umständen ihren Namen eigentlich mit Unrecht tragen würden, mit Glazialwirkungen in Verbindung, indem er ein besonderes Gewicht darauf legt, dass derartige Scheuermarken *in* und echt glaziale Geröllablagerungen *vor* den Fjorden regelmässig gemeinschaftlich auftreten. Es würde dies zu der von *Sexe* vertretenen Behauptung stimmen, dass der morphologische Charakter der „alten" Strandlinien, die uns hier vorzugsweise beschäftigen, und der „jungen", unter den Augen der lebenden Generation von der Brandungswelle ausgehöhlten Strandlinien keineswegs der gleiche sei.

Wir verfolgen die weitere Aktion der Brandungswoge, indem wir fürs erste daran festhalten, dass die Wasserlinie konstant bleibt, weder eine positive noch eine negative Verrückung erfährt. Alsdann sägt das Meer eine Terrasse in den Fels, wie sie uns in *Fig. 138* sich darstellt; mc ist die Meereshöhe zur Zeit der Ebbe, $m_1 c_1$ die Meereshöhe zur Zeit der Flut, und es wird so ersichtlich, dass, während unter dem Stande des Niedrigwassers, wie oberhalb des Hochwasserstandes die Böschungsverhältnisse noch keine namhafte Aenderung erfahren, das Stück cc_1 der Küste immer mehr verflacht wird. Die Hohlkehle wird immer weiter in das Innere des Küstengebirges vorgetrieben, es entstehen tiefe Löcher; *Fig. 139*, einen Teil der Steilküste Helgolands darstellend, gibt von solchen Löchern eine gute Anschauung. Allerdings eignet sich das mürbe mesozoische Gestein des Nordsee-Eilandes besonders gut dazu, die Stosskraft der Bran-

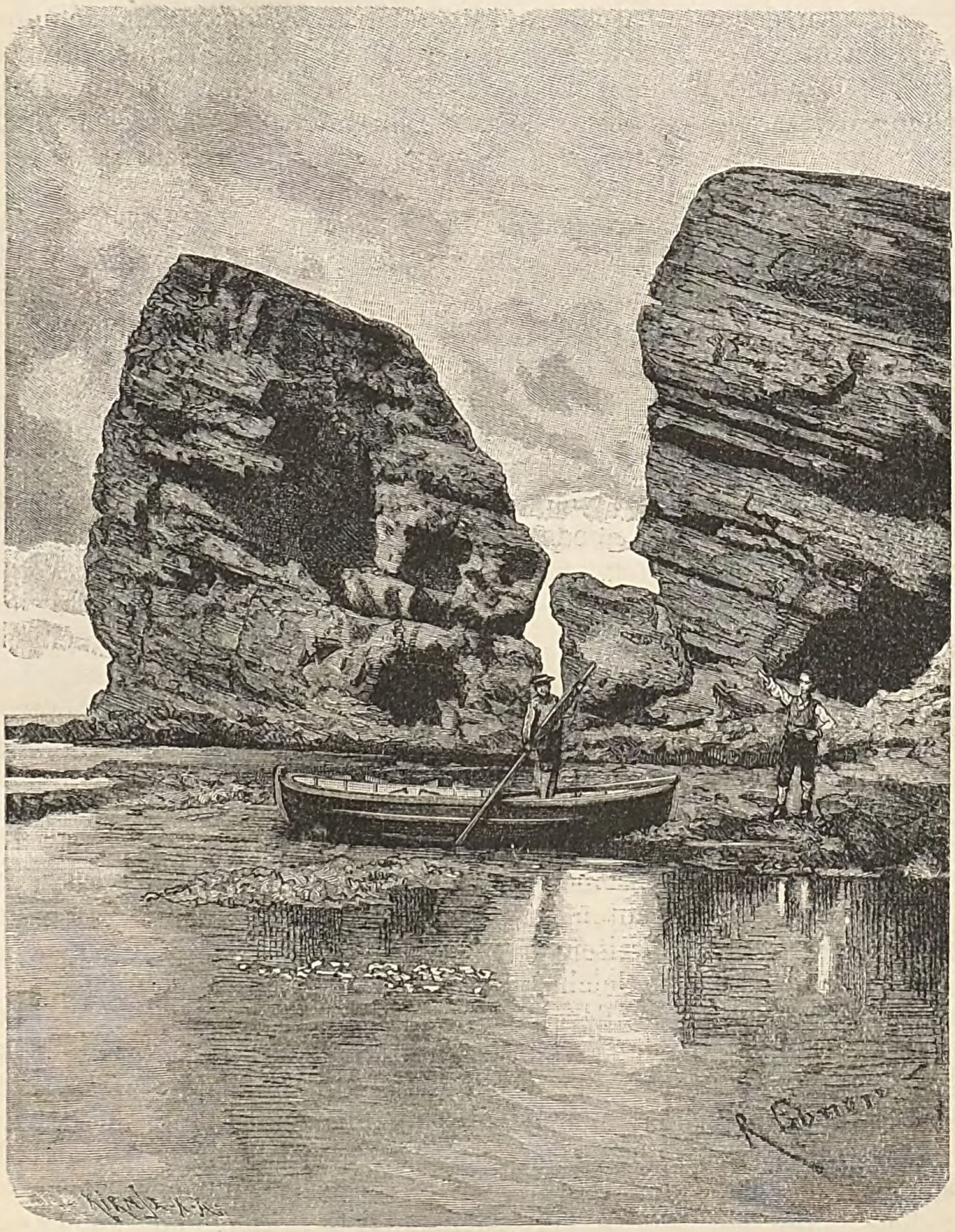
Fig. 138.



[1]) Ein anderes, viel diskutiertes Phänomen dieser Art sind die schottischen „*Parallel Roads of Glenroy*", an deren Erklärung sich u. a. *Daykins* und *Geikie* beteiligt haben. Die Ansicht, dass diese Parallelstreifungen eben auch Strandlinien seien, scheint mehr und mehr durchzudringen.

dungswoge zu erläutern, doch darf man nicht glauben, dass es sich mit Urgestein ganz anders verhielte. *Ackermann* z. B. berichtet, dass an der nördlichen Seite der den ältesten Formationen angehören-

Fig. 139.



den Insel Bornholm die Brandung eine Höhle in den Granit eingegraben hat („Nasser Ofen“ benannt), deren Inhalt sich auf mindestens 700 Kubikmeter berechnet.

Sowohl in *lateraler* als auch in *vertikaler* Richtung ist der Effekt des Wellenstosses dann ein verschiedener, wenn sich demselben Bezirke von verschiedener mineralogischer Beschaffenheit und demzufolge auch von verschiedener Härte in den Weg stellen.

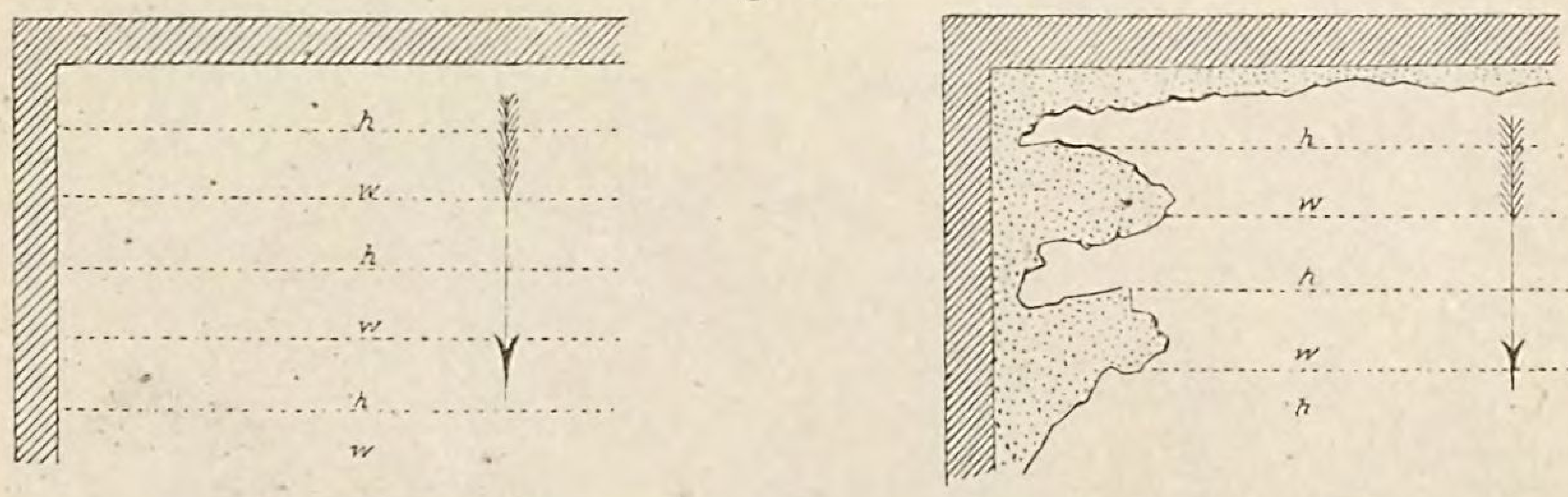
Kleinere Einbuchtungen sind gar nicht selten eine Folge davon, dass ein Stück weicheren Felsgesteines zu beiden Seiten von Gebirgsteilen eingeschlossen war, welche dem Anpralle einen nachhaltigeren Widerstand zu leisten vermögen. So pflegt vor allem Sandstein gerne aus Kalk- oder Massengestein herausgespült zu werden. An der westirischen Küste fand *v. Lasaulx* sechs schmale Meeresbuchten vor, welche genau der Abwechslung von Buntsandstein (S. 90) und Kohlenkalk (S. 88) entsprachen. Auch die Entstehung der eigentlich diesen Namen führenden *Fjorde,* welche nach *Peschel* nur polwärts von der Polargrenze der subtropischen Winterregen vorkommen sollen [1]), und als deren auszeichnende Eigentümlichkeit die gilt, *dass ihre Tiefe nahe dem freien Meere geringer ist, als weiter landeinwärts,* soll gleich an dieser Stelle ihre Erörterung finden. Man hat dieselben als gesunkene und vom Meere überflutete Flussthäler angesprochen; man hat sie als Spalten erklärt, die beim Aufsteigen der Küste oder bei der Verwandlung der Steine in krystallinischen Fels entstanden wären; man hat endlich auch die früher überschätzte auspflügende Thätigkeit der diluvialen Gletscher (S. 421) für die Ausgrabung dieser langen und bis zur vollkommenen Regellosigkeit vielgestaltigen Thalfurchen verantwortlich gemacht. Die von verschiedenen Forschern, so von *Rein*, bestimmt ausgesprochene Ueberzeugung, dass wesentlich die Brandungswoge, in Verbindung natürlich mit den anderen, Verwitterung, Erosion und Denudation unterstützenden Agentien (S. 402 ff.), die Fjorde ausgehöhlt habe, dürfte aber schliesslich Recht behalten, wenn auch dabei die ursprünglichen Bruchlinien der Erdkruste (S. 122) eine gewisse *leitende* und *auswählende* Rolle zu spielen berufen waren. *Kjerulf* hat nachgewiesen, dass für das Relief des grossen Christiania-Fjords gewisse der Epoche der Erosionsarbeit längst vorausgegangene Dislokationen massgebend gewesen sind.

Jene seitlich wechselnden Ungleichheiten des Küstenverlaufes, deren wir soeben gedachten, werden durch terrassen- oder treppenförmige Unregelmässigkeiten ersetzt erscheinen, wenn die Woge an Schichtenfolgen von ungleicher Resistenzkraft anprallt, deren Streichungsrichtung eine in der Hauptsache horizontale ist. Anders, wenn die Küstenlinie einen von Null merklich abweichenden Winkel mit der Streichungsrichtung einschliesst. Um in diesem verwickelteren Falle die Erscheinungen richtig zu übersehen, müssen wir uns an das klare Schema *v. Richthofens* (*Fig. 140*) halten. In *Fig. 140* bedeutet beidemale der schraffierte Teil das brandende Meer, in welches unter rechtem Winkel ein aus härteren und weicheren Straten (*h* und *w*) bestehendes Gebirge hinaustritt, und der Pfeil signalisiert den Fall jener Schichten (S. 68). Der mit unserer Zeichnungsebene zusammenfallende Horizontaldurchschnitt deckt sich

[1]) Eine recht eindeutige, allgemeinverständliche Begriffsbestimmung für Fjord fehlt uns. So wollen manche auch die schmalen Buchten der Bretagne und die *Rias* der asturischen Küste als echte Fjordbildungen gelten lassen, und auch auf die amerikanischen Seen hat *Ratzel* diese Bezeichnung ausgedehnt.

auch mit dem Flutniveau. Wenn die Wirkung der Wogen und der ihnen beigegebenen „Artillerie des Meeres", um *Geikie*s bezeichnenden Ausdruck zu wiederholen, genügend lange gewährt hat, so wird

Fig. 140.



a *b*

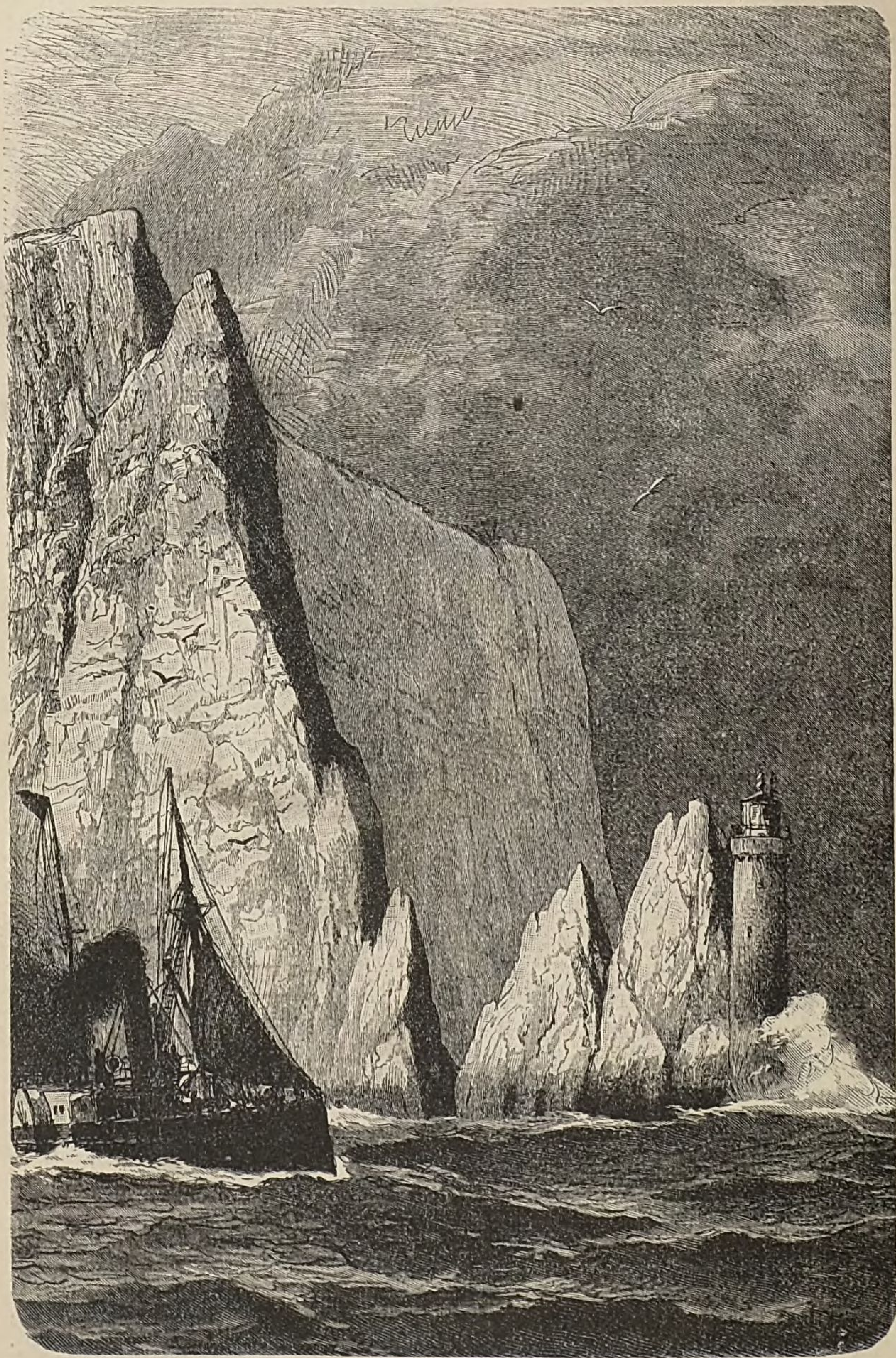
zwar der Ebbestrand noch seine anfängliche Konfiguration (*Fig. 140 a*) beibehalten haben, aber im Bereiche des Flutstrandes (*Fig. 140 b*) ist deutlich genug das ungleichartige Verhalten der Schichten *h* und *w* den erosiven Kräften gegenüber hervorgetreten.

Alle jene Effekte, welche wir bislang als von der Brandungswoge an einem entgegenstehenden Felsufer erzielt zu verzeichnen hatten, können wir der *marinen Erosion* im eigentlichen und engeren Sinne zuschreiben, als deren Steigerung die *marine Abrasion* erscheint, jene zerstörende Aktion, von welcher die grössten Umwälzungen ausgegangen sind, von welchen uns die Geschichte des Erdballes Kunde gibt. Wir gebrauchen das Wort Abrasion ganz so, wie es durch *v. Richthofen* in die Wissenschaft eingeführt und von der Mehrzahl der deutschen Geologen angenommen worden ist, während allerdings *Dana* und *Thoulet* darunter jene Art der Erosion verstehen, welche wir oben (S. 415) als die des Windes, resp. des vom Winde fortgeführten Sandes kennen lernten und mit *Walther* als Deflation bezeichneten. Freilich nun vermag auch die gewöhnliche Meereserosion von einer Steilküste in Jahrtausende hindurch fortgesetzter Thätigkeit gewaltige Trümmerstücke loszusprengen, wie dies in *Fig. 141* ein den englischen Kreidefelsen von Devonshire entnommenes Beispiel darthut, aber es behält doch die Küste als solche unverändert den gleichen Charakter bei. Ganz anders die Abrasion: *auf sie hin ist Gestalt und Masse des Küstengebirges eine durchaus andere geworden, als sie vorher gewesen war.*

Die Abrasion ist uns erst durch *v. Richthofen* ihrem wahren Wesen nach entschleiert worden[1]), der an der chinesischen Küste auf die von der *abscheerenden Kraft* der Brandungswoge, wie wir sie nennen möchten, geschaffenen sonderbaren geognostischen Verhältnisse aufmerksam ward und dieselben auf die heute allgemein

[1]) Der Name und eine erste, wennschon noch unvollständige Schilderung der Abrasion scheinen sich auf *Ramsay* zurückführen zu lassen.

Fig. 141.

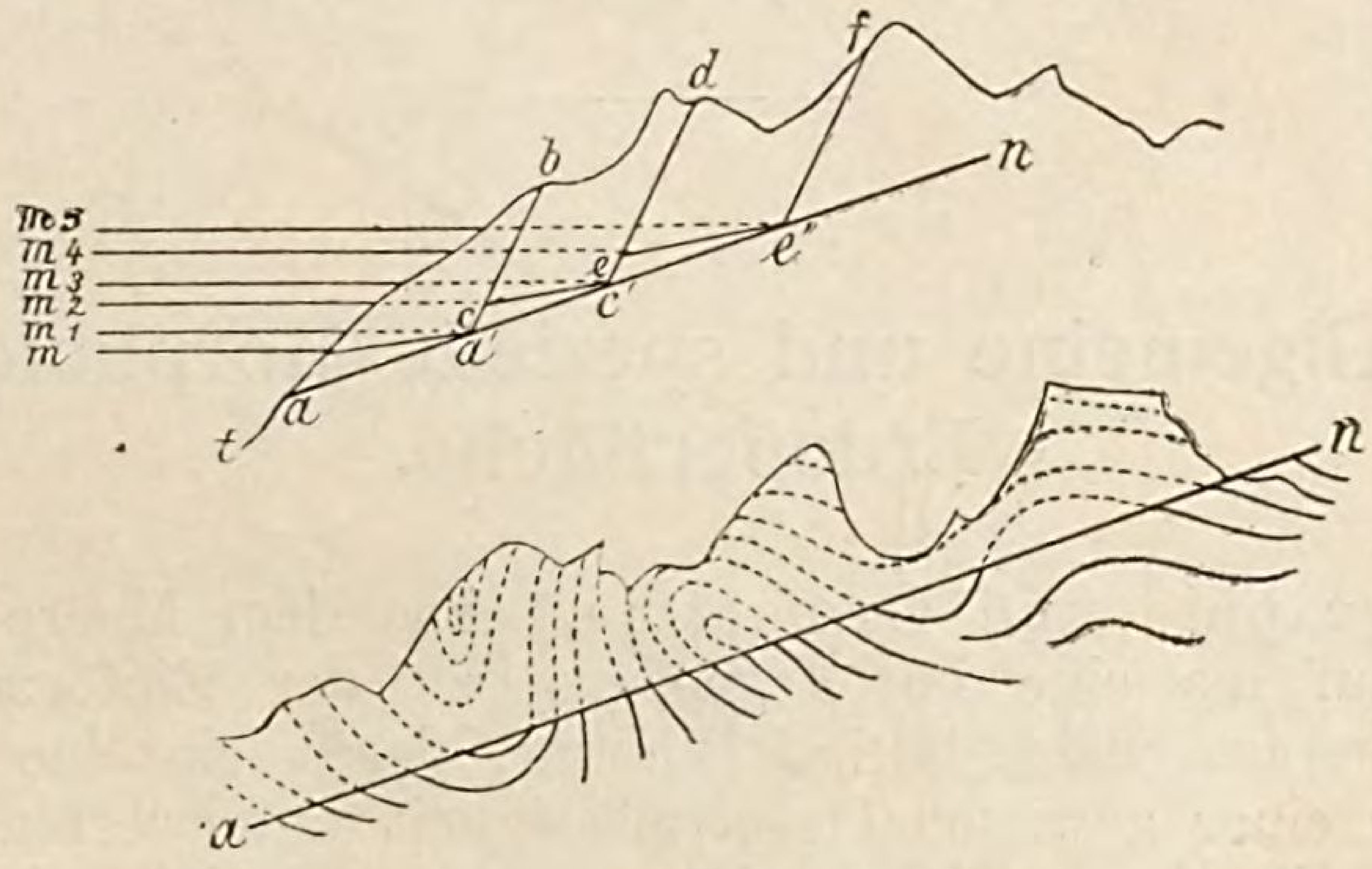


gebilligte Weise erklärte. Welche Verhältnisse dies sind, wird durch das untere Diagramm der *Fig. 142* klargelegt. *a n* ist ein sogenanntes *Abrasionsplateau*, d. h. eine in sanfter Neigung vom Meeresstrande aus gegen das Innere des Landes hin ansteigende

Fläche, welche sich in der schematisch angedeuteten Weise zugleich als Begrenzungsfläche gewisser Schichtsysteme erweist, in die nur dann Ordnung zu bringen ist, wenn man die in der Zeichnung gestrichelten Fortsetzungen und Bindeglieder in Gedanken hinzufügt. Thut man dies aber und ergänzt den fehlenden Teil des Gebirges, so bleibt nur die Annahme übrig, dass derselbe in grauer Vorzeit wirklich vorhanden gewesen, von den Fluten aber hinweggewaschen worden ist. Die fortgespülten Trümmermassen können in weite Entfernungen entführt und dort zur Erhöhung des Meeresgrundes verwendet worden sein; es können sich aber die Ueberreste des zerstörten Gebirges *in transgredienter Lagerung* auf der Schleiffläche selbst angesammelt haben, und dann wird der Ueberblick erheblich erschwert.

Massgebend für die vorstehend geschilderte *Kumulativerosion* der Brandungswoge ist folgendes: *die Abrasion kann sich nur an*

Fig. 142.



einer sinkenden Küste, resp. gegenüber einer positiven Verschiebung der Wasserlinie bethätigen. Wir verweisen auf das obere Diagramm von *Fig. 142*, worin für drei konsekutive Stadien des Abwärtsschwebens der Küste die resp. durch m, m_2 und m_4 gekennzeichneten Parallellinien dem Strande der Ebbe, die Linien m_1, m_3 und m_5 dem Strande der höchsten Flut entsprechen sollen. Wie innerhalb dieser beiden Grenzniveaus die Flut den Stein ausnagt, haben wir oben bereits erfahren. Zunächst wird eine Terrasse in den Fels eingeschnitten, welche in a' ihr Ende erreicht; alsdann verliert das prismatische Gebirgsstück $aa'b$ seinen Halt und stürzt in sich zusammen oder in das Meer, und letzteres beginnt nun, zwischen m_2 und m_3 oszillierend, die Küstenfläche $a'b$ in angriff zu nehmen, aus welcher die in c' ihr Ende erreichende Terrasse und, in deren Gefolge, der Körper $cc'db$ herausgesägt wird. In der dritten Periode endlich beginnt die Terrassenbildung bei dem in der Parallelen m_4 gelegenen Punkte e und schreitet bis zu dem in der Parallelen m_5 gelegenen Punkte e' fort, worauf dann das Einsinken des Prisma-

toides $ee'fd$ erfolgt. In diesem Sinne kann man sich den Zerstörungsprozess immer weiter und energischer fortschreitend denken, bis endlich von dem Küstengebirge tf nur noch der durch die Abrasionsfläche $aa'c'e'n$ nach oben zu begrenzte Bestandteil übrig geblieben ist[1]).

Wenn wir nochmals kurz unsere Betrachtungen über die quantitativ wie qualitativ sehr ungleichartigen Erosionswirkungen des bewegten Meeres zusammenfassen, so können wir sagen:

Solange die Flutmarke der See an einer felsigen Steilküste unverändert dieselbe bleibt, muss sich die Meereserosion auf die Herausmodellierung von Strandterrassen und Einbuchtungen durch verschieden starke Inangriffnahme härteren und weniger harten Gesteines beschränken. Rückt dagegen jene Marke im positiven Sinne vor, so tritt die Meeresabrasion in ihre Rechte und wirkt zerstörend und umlagernd auf den oberhalb des sich allmählich herausbildenden Abrasionsplateaus befindlichen Teil des Küstengebirges ein.

XVII. Allgemeine und spezielle Morphologie der Erdoberfläche.

Orographie und Orometrie. Aus dem Meere steigt das Festland auf als eine im Gegensatze zu der Einförmigkeit des ersteren überaus vielgestaltige Bildung, deren einzelne Züge sich nur schwer einer gewissen Gesetzmässigkeit unterwerfen zu wollen scheinen. Mit diesem Worte können wir offenbar ein doppeltes bezeichnen. Es kann zunächst darauf ankommen, rein äusserlich, ohne auf die Besonderheit der bei der Herstellung der gegenwärtigen Oberflächenform wirksamen Kräfte Rücksicht zu nehmen, die beobachteten Erscheinungen auf gemeinsame Typen zurückzuführen; dies ist die Aufgabe der *Orographie*, einer geographischen Disziplin, welche erst durch *A. v. Humboldt* Wesen und Inhalt vorgezeichnet erhielt. Hiemit und mit der nächst verwandten *Orometrie*, welche für wichtige gestaltliche und metrische Beziehungen den zutreffenden mathematischen Ausdruck, resp. die richtigen Zahlenwerte zu finden lehrt, haben wir es vorläufig allein zu thun, während wir das Studium der Oberfläche unter dem kausalen Gesichtspunkte,

[1]) Gewisse Bedenken, welche von *Neumayr, Penck, Hilber* u. a. der oben vorgetragenen Abrasionstheorie entgegengehalten werden, verdienen volle Beachtung. Soviel ist gewiss zuzugestehen, dass die Landabscherung nicht sowohl den Stempel einer *generellen* als vielmehr den einer bloss *regionalen* Erscheinung trägt, und dass Abrasionsflächen auch unter der Einwirkung anderer erosiver Faktoren zustande kommen können und nicht allein ausschliesslich unter derjenigen der Brandungswelle.

soweit dasselbe nicht bereits in den Abschnitten V und XVI seine Erledigung gefunden hat, eben auf jene Grundlage erst zu basieren gedenken.

Jeder dem Meere entragende Kontinent kann als ein einziges gigantisches Gebirge angesehen werden, und wenn man dann annimmt, es seien sämtliche Berge bis zu einem gewissen Horizonte abgetragen, und mit dem so erhaltenen Materiale seien alle Hohlräume ausgeebnet, so hat der Kontinent jetzt die Form eines Prismas, eines von zwei Parallelflächen begrenzten Gesteinskörpers angenommen, und man kann den gleichbleibenden Abstand beider Flächen als die *mittlere Höhe des Kontinentes* bezeichnen. Auch leuchtet ein, dass dieser Begriff sich als vollkommen gleichwertig neben denjenigen stellt, welchen wir früher schon als *mittlere Tiefe eines Meeres* (S. 274) kennen zu lernen hatten. *Humboldt* und *Laplace* wagten zuerst Schätzungen bezüglich der Mittelhöhe einzelner Festlandmassen, doch durften diese kaum als erste rohe Annäherungen gelten. Später wurden, von *Leipoldt* für Europa, von *Chavanne* für Afrika, genauere Zahlen ermittelt, und in neuester Zeit ist die Frage in lebhaften Fluss gekommen. Namentlich *Lapparent* und *Murray* behandelten dieselbe in grossem Umfange, aber in den Rechnungen des letzteren bemerkten *Supan* und *Penck* gewisse Ungenauigkeiten, so dass sie, wenn auch im wesentlichen auf der gleichen Unterlage, eine Neuberechnung angezeigt erachteten. Wir geben nachstehend die kleine Tabelle, welche die Bestimmungen der einzelnen Forscher zu übersehen gestattet:

Autor	Mittlere Höhe des Gesamtfestlandes in m	Mittlere Tiefe aller Ozeane in m
A. v. Humboldt . . .	310	—
Krümmel	—	3320
Lapparent	650	4260
Murray	686	3800
Supan	680	3650
Penck	705	3650

Den von *Penck* angegebenen Regeln folgend, hat *Heiderich* die mühevolle Rechnung für die einzelnen Kontinente nochmals durchgeführt und gefunden, dass Europa um 375, Asien um 920, Afrika ungefähr um 636, Australien um 470, Nordamerika um 830, Südamerika um 760 Meter über das ozeanische Niveau, welches wir ja (S. 45) als ein sehr nahe übereinstimmendes betrachten dürfen, sich erhebt, und aus diesen Zahlen würde dann die mittlere Gesamthöhe der Lithosphäre gleich 744 Meter folgen.

Nicht die einzelnen Kontinente, sondern die über den ganzen Erdball weglaufenden Breitenzonen hat *Tillo* zur Norm genommen und hat gleichfalls eine Tafel konstruiert, deren wichtigste Teile wir hier wiedergeben wollen:

Breite	h_n	h_s	h_e	t_n	t_s	t_e
90—80°	856	—	856	740	1524	1108
80—70	546	1219	592	627	1584	1105
70—60	359	507	362	888	2850	2395
60—50	469	400	468	2130	3589	3145
50—40	769	542	757	3648	4210	4022
40—30	1353	466	1167	4154	4116	4131
30—20	738	604	686	4152	4417	4298
20—10	515	825	657	4100	4205	4154
10—0	686	553	619	4021	4097	4059

h_n ist die mittlere Festlandshöhe für die nördliche, h_s für die südliche Hemisphäre, h_e für die Erde als solche, und wenn wir h durch t ersetzen, so geht die mittlere Höhe der Festlandsteile in die mittlere Tiefe der entsprechenden Meeresstreifen über. Auch wurde, was freilich keineswegs erwiesen ist [1]), vorausgesetzt, dass die eigentliche Polarkalotte der antarktischen Halbkugel überhaupt gar kein Festland enthalte.

Um einen Totaleindruck von der Oberfläche der Erde zu erhalten [2]), denken wir uns einen Beobachter, welcher sich in bedeutender Entfernung von derselben befindet, sie also *aus der Vogelperspektive* betrachtet. Jeder seiner Sehstrahlen wird im allgemeinen einen *und nur einen* Punkt der Erdoberfläche treffen; Ausnahmen treten nur dann ein, wenn eine Felswand, wie man sich ausdrückt, *überhängt*, oder wenn eine *Höhle* sich in das Innere eines Berges einsenkt. Im übrigen kann der supponierte Beobachter *Erhebungen* und *Hohlräume* unterscheiden, und zwar wird sich ihm die Wahrnehmung aufdrängen, dass bezüglich dieser letzteren zwei von einander grundverschiedene Formen auseinanderzuhalten sind. In die erste Klasse stellen wir die *Thäler* im weitesten Sinne des Wortes; als Thal bezeichnen wir nämlich eine Einsenkung von der Beschaffenheit, *dass jeder von einem der umgebenden Hänge herabrinnende Wassertropfen schliesslich den Weg zu dem grossen Wasserreservoir der Erde, dem Weltmeere, finden muss.* Diejenigen Hohlräume, welche wir mit *Penck* als *Wannen* bezeichnen und in eine eigene zweite Klasse stellen wollen, besitzen jene Eigenschaft nicht; das von den Wänden abfliessende Wasser sammelt sich in den tieferen Teilen der Wanne an und bildet dort, sofern es nicht verdunstet oder im Sande versickert, resp. (S. 337) mit dem Grundwasser sich vermischt, *Binnenseen.* So sind wir zu einer Einteilung der Erdoberfläche in zwei morphologisch ganz abweichend sich verhaltende

[1]) Man besitzt sogar eine Schrift von *Reiter* (Die Südpolarfrage und ihre Bedeutung für die genetische Gliederung der Erdoberfläche, Weimar 1886), welche zahlreiche geologische Argumente für das Vorhandensein eines Australkontinentes ins Gefecht führt.

[2]) Für die folgenden Betrachtungen war teilweise ein von *A. Penck* vor den Mitgliedern des neunten deutschen Geographentages in Wien gehaltener Vortrag von Einfluss.

Gebiete gelangt: den *peripherischen Ländern*, wie sie *v. Richthofen* nennt, stehen die *zentralen Länder* gegenüber. Erstere stehen in steter Verbindung mit den Ozeanen, während letztere abflusslos sind. Dahin gehören das ganze Innere von Asien, die grosse innerafrikanische Mulde um den Tsade-See herum, Teile von Australien, die Hochfläche zwischen Felsen- und Schneegebirge in Nordamerika, wogegen Europa kein Wannenland von irgend namhafterer Ausdehnung in sich schliesst. Minimale abflusslose Distrikte beherbergt allerdings, wie wir weiter unten erfahren werden, jede Karstlandschaft.

Die Thäler, um zunächst bei diesen durch die Mannigfaltigkeit ihrer Erscheinungsformen für den Freund wie für den Erforscher der Natur gleich anziehenden Hohlräumen zu verbleiben, können wir einteilen in *ursprüngliche* oder *tektonische*, die sich gleich von Anfang infolge der gewaltigen, in Abschnitt V geschilderten Bewegungen innerhalb unserer Erdrinde bildeten, und — der Ausdruck findet sich zuerst bei *v. Richthofen* — in *Skulpturthäler*, welche ihre Entstehung irgendwie den erosiven Agentien (s. den vorigen Abschnitt) zu danken haben. Wenn wir demnächst die Frage der Thalbildung in ernstliche Erwägung ziehen werden, so wird sich ergeben, dass dieser Gegensatz kein so tief gehender ist, wie man auf den ersten Blick wohl meinen könnte, dass vielmehr auch die an und für sich tektonischen Thäler durch Skulptur erst zu dem geworden sind, als was wir sie heute kennen lernen. Die technischen Bezeichnungen, welche namentlich *Löwl* und *v. Richthofen* für die verschiedenen Thalgattungen eingeführt haben, können uns hier nicht beschäftigen, da zu ihrem Verständnisse schon eine gewisse Einsicht in den Entstehungsprozess erfordert wird; die an dieser Stelle nicht vorausgesetzt werden kann. Für jetzt mögen einzelne, der blossen Anschauung entnommene Sachbezeichnungen ihren Platz finden.

Die bedeutsamste Zweiteilung findet statt zwischen *Längsthälern und Quer-* oder *Durchbruchsthälern*. Bei den erstgenannten hat der Thalzug dieselbe Richtung, welche den das Thal einsäumenden Bergketten zukommt; bei den Querthälern im Gegenteile ist die mehr oder weniger gewaltsame Bildung offenkundig, indem ein allen Anzeichen nach zusammengehöriger Gebirgszug durch den Thaleinschnitt in zwei Teile zerlegt ward. Sowohl Längs- als auch Querthäler können *symmetrisch* oder *asymmetrisch* sein, d. h. es können die Thalwände vom *Thalwege*, der gemeiniglich durch einen Wasserlauf gekennzeichnet wird [1]), unter gleichen Winkeln ansteigen, oder es kann auch die eine Seite um ein beträchtliches stärker als die andere geböscht sein, so dass also die im Stromstriche (S. 361) errichtete Vertikalfläche der einen Berglehne stets viel näher bleibt, als der anderen.

[1]) Es gibt da und dort auf der Erde auch sogenannte *Trockenthäler*, denen ein sie durchziehender Fluss oder Bach gänzlich abgeht. Im Verlaufe unserer Untersuchungen (S. 458) werden wir auf das Verschwinden des thalbildenden Wassers unser Augenmerk zu richten haben.

Die Regenrisse und *Runsen* im Hochgebirge (S. 414) können als erste Ansätze zu künftigen Thälern ebensogut betrachtet werden, wie die vulkanischen Barrancas (S. 139). Tiefer eingeschnittene, aber in der Hauptausdehnung kurze Aushöhlungen des Bodens nennt man *Tobel.* Kurz sind auch die *Gräben* der Ostalpen, Einbuchtungen des Gebirges mit scharf abfallender Sohle, doch hat sich allerdings hie und da die örtliche Terminologie dieses Ausdruckes derart bemächtigt, dass kurzweg jedes Seitenthal Graben genannt wird [1]. Einige Aehnlichkeit mit der Grabenform scheint das für die chilenischen Anden typische, von *Güssfeldt* beschriebene *Kastenthal („cajon")* zu haben; der Querschnitt desselben ist ungefähr rechteckig, und ohne nach oben zu allmählich zu verlaufen, erreicht es an einem Bergabsturze ein plötzliches Ende. *Schluchten* und *Schlünde* sind tiefe Thalrisse, besonders kräftig entwickelt in den Plateaugebirgen des südwestlichen Nordamerika (*„Cañons"*; vgl. S. 96). Häufig ist es schwer, zwischen einer Schlucht und einer gewöhnlichen *Thalenge* oder *Thalkehle* zu unterscheiden; zu letzteren wird man beispielsweise das Donauthal zwischen Passau und Aschach, das Rheinthal zwischen Bingen und Koblenz rechnen, aber das Eisackthal zwischen Brixen und Bozen (Kuntersweg) trägt schon mehr den Charakter einer Schlucht. Wenn in einer solchen die Wände fast oder auch ganz sich zusammenschliessen, so hat man es mit einer *Klamm* zu thun [2]).

Manche Längsthäler des Gebirges haben die Eigenschaft, dass sie sich stellenweise zu ausgedehnteren ebenen Flächen, *Thalbecken,* erweitern; gemeiniglich wird der Aufstieg von einem unteren zu einem oberen Becken durch eine Schlucht vermittelt, innerhalb deren die Thalsohle ein starkes, unregelmässiges Gefälle aufweist (Gasteiner Thal, Oetzthal mit seinen beiden Verbindungsschluchten Maurach und Kühtreien). Die Bezeichnung *Thalterrasse* bietet sich ganz von selber dar.

Da der Wanderer ein Thal zumeist von seinem unteren Ende her durchwandert, so hat sich für dasselbe die Benennung *Thalanfang* und für das obere, nämlich für jene Gegend, von der ein Ausweg nur durch Rückkehr auf demselben Wege oder durch eine wirkliche Bergbesteigung gefunden wird, die Benennung *Thalschluss* eingebürgert, obwohl eine Umkehrung der Begriffe der Sache mehr entspräche. *Seitenthäler* münden, sehr häufig unter spitzen Winkeln (S. 358), in das *Hauptthal,* welches in der Regel, in der Nähe seines Schlusses, sich in mehrere, koordinierte Thäler teilt oder *zwieselt.* Das Oetzthal wird z. B. durch den Nöderkogel, an dessen Fusse der Weiler „Zwieselstein" liegt, in die selbständigen Glieder

[1]) Dies gilt, um ein drastisches Beispiel anzuführen, für den Gebirgsstock des Semmering (Adlitzgraben, Höllengraben, Wagnergraben, Gamperlgraben u. s. w.).

[2]) Bei vielen Klammen (Seissenberg-Klamm am Hirschbühel, Schwarzbach-Klamm bei Unken) ist dem in ihrem Inneren Befindlichen der Anblick des Himmels teilweise verborgen, es tritt also der oben (S. 436) gekennzeichnete Ausnahmefall ein.

des Gurgler und Venter Thales geschieden, und ungleich mannigfaltiger noch ist die Zwieselung beim oberen Zillerthale. Das *Thalgefälle* ist nur selten ein gleichbleibendes; von der Bestimmung des äquivalenten numerischen Betrages ist schon oben (S. 356) gesprochen worden.

Mit der Morphographie [1]) der Thäler steht in engster Beziehung diejenige der Erhebungen. Als der tiefst gehende Unterschied stellt sich dar derjenige der *Ketten-* und der *Massengebirge*, über den, wie *Neumayr* hervorhebt, am besten eine Umschau orientiert, welche gleichzeitig die aus grosser Entfernung ihre longitudinale Erstreckung deutlich offenbarenden Alpen und die in unbestimmter Gruppierung sich an einander drängenden Berghäupter des Schwarzwaldes vor das Auge stellt. Im grossen und ganzen darf man die Kettengebirge als die *geologisch jungen*, die Massengebirge als die *geologisch alten* Gebirge ansprechen. An letzteren sind die grossen Umwälzungen der Tertiärperiode zwar nicht ganz spurlos vorübergegangen, aber wesentliche Veränderungen hat ihr Gefüge durch die fortschreitende Verkleinerung des Erdhalbmessers nicht mehr erlitten. Wenigstens nicht, soweit wir ihren Verlauf oberhalb der Ebenen, auf denen sie aufsitzen, noch zu verfolgen imstande sind, denn so, wie wir sie sehen, sind sie nur *Bruchstücke*. Als einen *Horst* (S. 110) haben wir den vorhin genannten Schwarzwald ja bereits kennen gelernt; die einzelne Scholle ist noch stehen geblieben, während andere Teile, die mit ihr vordem zu einem grossen Plateaugebirge vereinigt waren, nunmehr abgesunken und von jüngeren Bildungen dergestalt überlagert sind, dass nur die Gedankenarbeit des Forschers die Einheit, wie sie wohl noch im mesozoischen Zeitalter bestand, zu rekonstruieren vermag [2]). Wir können die Erdbezirke, welche bezüglich von einem Längs- oder Massengebirge überdeckt werden, auch noch unter einem anderen Gesichtspunkte trennen. Dort haben wir es mit einem Stücke Erdrinde zu thun, welches nur in seinen obersten Partien gestört, d. h. einem Fältelungsprozesse unterworfen worden ist; hier dagegen setzen sich die Brüche, welche die Erdkruste in ein System — teils stehen gebliebener, teils abgesunkener — Schollen zerlegt haben, bis in sehr grosse Tiefen fort. Wenn wir uns also dessen erinnern, was früher

[1]) Man sollte, obwohl diese Begriffsscheidung allerdings schwer konsequent durchzuführen ist, die *Morphographie*, welche lediglich genaue Beschreibungen zu liefern bestimmt ist, von der *Morphologie* trennen, welche ein Zweig der erklärenden Naturwissenschaften sein soll.

[2]) Die ideelle, d. h. nur eben der Wirklichkeit abgesehene Fortführung eines Gebirges unter den verhüllenden Massen der oberen Schichten weg gelingt in vielen Fällen dem Spürgeiste des Geologen. So ist durch *v. Hochstetter* und *Löwl* der Nachweis erbracht worden, dass die zentrale Granitmasse des Karlsbader Gebirges unter den pliozänen Schichten des Beckens, worin die Städte Ellbogen und Falkenau liegen, direkt mit dem Urgesteine des Erzgebirges bei Eibenstock zusammenhängt. Ein anderes Beispiel liefert die norddeutsche Tiefebene. Als man in Lübeck Bohrungen anstellte, stiess man in ziemlicher Tiefe auf denselben Septarienthon, der dem Oligozän angehört und südlich bei Dömitz an der Elbe, nördlich bei Aarhuus in Jütland anstehend angetroffen wurde.

(S. 125) von den *Tafeln* gesagt ward, so können wir ein *Tafelgebirge* einem *Schollengebirge* entgegenstellen. In erstere Kategorie versetzt *Toula* die westliche, in letztere die östliche Seite der Balkanhalbinsel. Die Kettengebirge sind nur ausnahmsweise *einfach gebaut* (Schweizer Jura, Böhmerwald), so dass man also eine bestimmte, in Falten gelegte Formation durch das ganze Querprofil hindurch verfolgen kann; mehrenteils ist der Bau ein *zonaler* (vgl. *Fig. 21*), so dass einer inneren, aus Granit oder krystallinischen Schiefern bestehenden Zone eine äussere Sedimentzone angelagert erscheint. Doch ist diese Anlagerung nicht stets eine *symmetrische*, vielfach vielmehr nur eine *einseitige* (S. 102). Aus der Entstehungsart der Kettengebirge ist zu schliessen, dass solche sich niemals eigentlich *durchkreuzen* [1]), während, wenn dieselben wirklich aus Spalten gehobenes Magma wären, eine solche Kreuzung geradezu erwartet werden müsste. Man spricht allerdings von *Gebirgsknoten*, allein wenn auch nicht in abrede gezogen werden kann, dass die kettenbildenden Kräfte an den schon vorhandenen alten Massengebirgen sich stauten, so sind doch diese sogenannten Knoten in ihrer heutigen Gestalt wesentlich nur ein Produkt der Erosion und der Denudation. Die *Streichungsrichtung* der Gebirge ist im allgemeinen von derjenigen (S. 68) der dasselbe zusammensetzenden Schichten wenig verschieden, doch sind von den Geologen auch Ausnahmen (Elburs, griechische Höhenzüge) registriert worden.

Dem Geographen liegt die Aufgabe ob, innerhalb eines gegebenen Gebirges *Gruppen* abzugrenzen, welche, ohne die innere Zugehörigkeit zu verleugnen, doch als eine neue Einheit angesehen werden können. Nach *Böhm* [2]) ist eine Gebirgsgruppe „ein System von Gebirgsteilen innerhalb eines grösseren Gebirgssystemes, welche in allen ihren wesentlichen Eigenschaften — also Gestalt, Höhe, Material, Aufbau und Anordnung — Aehnlichkeiten und Beziehungen zu einander erkennen lassen, und die somit eine gewisse Einheitlichkeit ihrer Physiognomie zur Schau tragen“. Unter dem der physischen Erdkunde eigentümlichen Gesichtspunkte sagt uns diese Auffassung, von welcher sich *Böhm* bei seiner bekannten Einteilung der östlichen Alpen leiten liess, weit mehr zu, als jene *Dieners*, welche als Gruppengrenze einzig und allein Bruchlinien gelten lassen will, welche demzufolge zwar einheitlich und strenge ist, uns aber mit vielen altgewohnten geographischen Vorstellungen gänzlich zu brechen nötigen würde.

Wir treten jetzt der eigentlichen Orometrie näher, zu der

[1]) Neuerdings allerdings soll *Prshewalski* in den chinesisch-zentralasiatischen Grenzgebirgen zwei genau rechtwinklig einander durchsetzenden Bergzüge aufgefunden haben. Dies wäre etwas ähnliches, wie der von *Humboldt* vermutete, thatsächlich aber nicht vorhandene Bolor-Dagh, an dessen Stelle die Forschung später das keineswegs den Ketten-, sondern recht eigentlich den unregelmässigen Massengebirgen zuzuzählende, als solches von *Geiger* eingehend beschriebene Pamir-Plateau gesetzt hat.

[2]) Verhandlungen des siebenten deutschen Geographentages zu Karlsruhe, Berlin 1887.

durch *Humboldt* der Grund gelegt worden ist. Es handelt sich darum, zuerst gewisse *altimetrische Begriffe* scharf zu bestimmen und sodann der numerischen Berechnung zugänglich zu machen; weiterhin müssen gewisse charakteristische Neigungswinkel ermittelt werden; an dritter Stelle steht die Vergleichung der Grösse der Oberfläche eines Gebirges oder Gebirgsteiles mit dem davon bedeckten ebenen Areale; viertens endlich ist die *Volumberechnung* der Gebirgsmasse vorzunehmen. Die älteren, für ihre Zeit verdienstlichen Methoden *A. v. Humboldts* und *v. Sonklars* hielten sich allzu enge bloss an ausgesprochene Kettengebirge und litten zudem noch an verschiedenen anderen Gebrechen, so dass eine gründliche Reform nicht mehr zu umgehen war. Die Anzahl der Autoren, welche an derselben mitwirkten, ist eine viel zu grosse, als dass dieselben hier sämtlich Erwähnung finden könnten; wer sich einen guten Einblick in die ganze Reformbewegung verschaffen will, wird am besten eine Schrift von *Peucker* [1]) zur Hand nehmen.

I. Den Beginn der orometrischen, wie schon erwähnt, wesentlich nur Kettengebirgen angepassten Definitionen machte die *Kammlinie*. Es ist die Kurve, welche sämtliche Punkte relativer Maximalhöhe einer Kette verbindet; in ihr hebt sich ein Längsgebirge, aus der Ferne gesehen, vom blauen Himmel ab. Nennen wir jede Stelle der Kammlinie, in welcher dieselbe eine horizontale Tangente hat, resp. einen *Gipfel* oder *Sattel* [2]), je nachdem dort die Kurve nach oben konvex oder konkav gekrümmt ist, so sind auch die Begriffe *mittlere Gipfelhöhe* und *mittlere Sattelhöhe* unmittelbar gegeben. Die Differenz aus beiden Werten nannte *v. Sonklar* die *mittlere Schartung* und setzte sie dem pittoresken Gesamteindrucke eines Gebirges proportional. Endlich wäre noch anzugeben, was man unter *mittlerer Kammhöhe* zu verstehen hat. Nach *v. Sonklar* wäre sie das arithmetische Mittel aus der Summe sämtlicher Gipfel- und Sattelhöhen, doch ist diese Bestimmung nicht völlig befriedigend. *Peucker* schlägt zum Ersatze derselben vor, äquidistante Höhen h_1, $h_2 \ldots h_{n-1}$, h_n der Linie in geeigneten Entfernungen zu messen und alsdann die mittlere Kammhöhe mit dem Ausdrucke

$$\frac{1}{n-1}\left[h_2 + h_3 + \ldots + h_{n-1} + \frac{1}{2}(h_1 + h_n)\right]$$

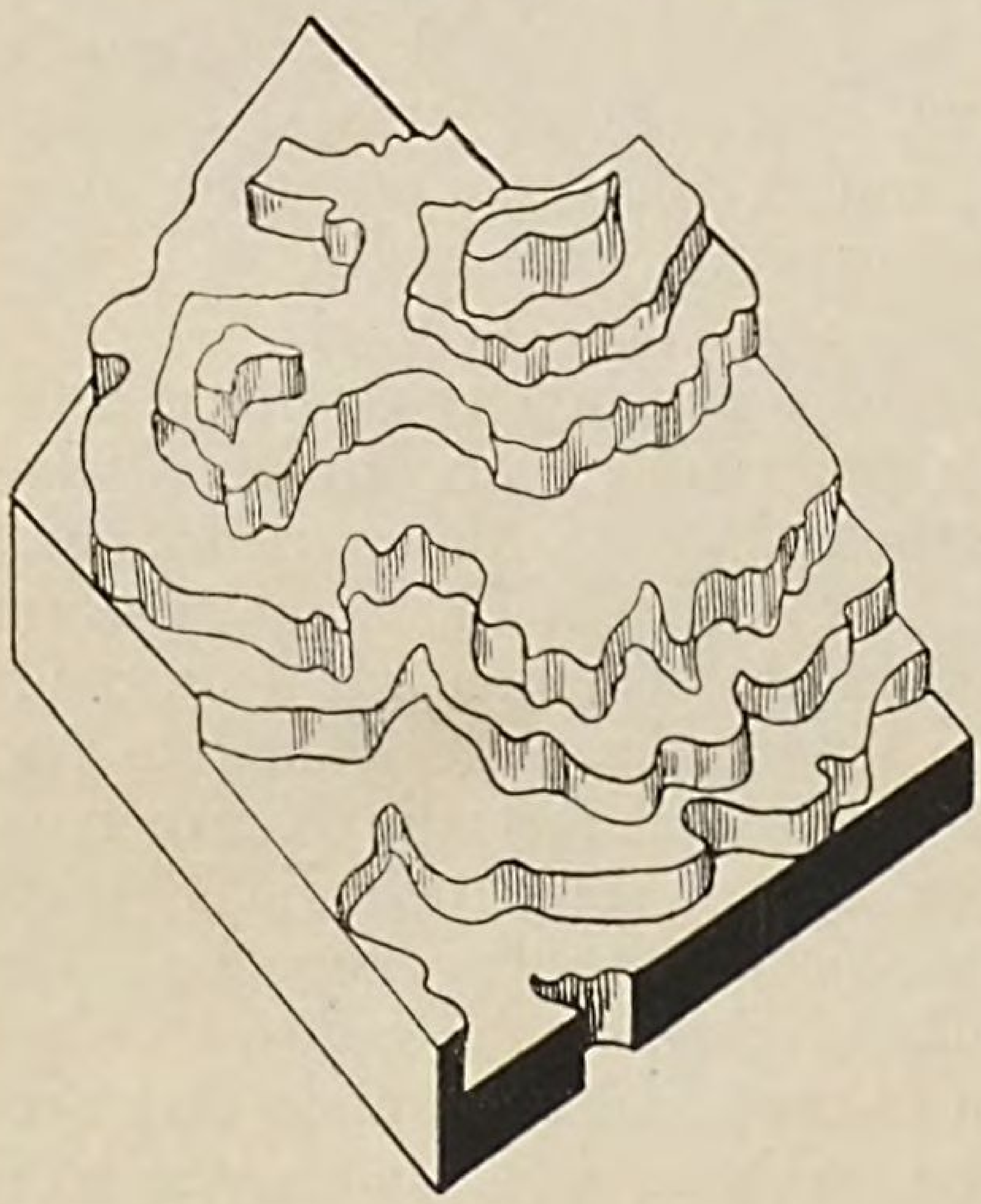
zu identifizieren.

[1]) *Peucker*, Beiträge zur orometrischen Methodenlehre, Trebnitz 1890. Werthvoll ist in dieser Abhandlung insbesondere auch die Beigabe eines, soweit wir urteilen können, lückenlosen Litteraturverzeichnisses.

[2]) Ueber solche Sättel weg führen im allgemeinen die *Pässe*, obwohl es, wie demnächst bei der Besprechung der Thalwasserscheiden gezeigt werden wird, ein Irrtum wäre, zu glauben, dass ein Kettengebirge nur durch seine Einsattelungen passierbar wird. Man darf sagen, dass, je grösser die mittlere Gipfelhöhe, umso grösser auch die mittlere Passhöhe wird (Kuen-lun, Himálaya, Karakorum mit der bis jetzt bekannten grössten Mittelhöhe von 5700 m). Wohl aber kann es auch vorkommen, dass ein höheres Gebirge *wegsamer* als ein niedrigeres erfunden wird; das beste Beispiel geben Pyrenäen und Alpen; erstere stellen als schroff aufragende Gebirgsmauer dem Verkehr die grössten Schwierigkeiten entgegen, während letztere von fünf Transversalbahnen aufgeschlossen werden.

II. Steigt ein Bergabhang einfach wie eine geneigte Ebene vom Thalrande aus an, so ist dessen Neigung mit Hilfe des Klinometers (S. 69) leicht zu ermitteln. Auch die *Totalneigung* eines Abhanges ist sofort gegeben; sie ist der Winkel, welchen in der durch das Auge des Beobachters und den höchsten anvisierten Punkt hindurch gelegten Vertikalebene diese Gesichtslinie mit ihrer Horizontalprojektion bildet [1]). Etwas anderes ist der *mittlere Böschungswinkel,* der jedoch jetzt ebenfalls nach einem ganz exakten Verfahren von *Finsterwalder* gefunden werden kann. In *Fig. 143* sehen wir ein Gebirge in der Weise künstlich aufgebaut vor uns, dass wir aus einer Isohypsenkarte die einzelnen Höhenschichten mit der Scheere ausgeschnitten und über einander befestigt haben, ganz so, wie man thatsächlich bei der Anfertigung von Reliefs zu werke zu gehen pflegt. Fragen wir uns nun, was denn bei einem solchen Treppenmodelle die mittlere Böschung sein würde, so ist die Tangente dieses Winkels offenbar gleich einem Bruche, dessen Zähler die Summe der vertikalen, dessen Nenner die Summe der horizontalen Flächen ist. Nachdem diese Anschauung gewonnen ist, bedarf es nur des Grenzüberganges, d. h. der Annahme, dass die einzelnen Treppenstufen von unendlich kleiner Höhe seien, um, für den Fall, dass die Fläche, in welcher ein Gebirge abfällt, durch eine Gleichung zwischen zwei Veränderlichen gegeben wäre, auch für fragliche Tangente einen geschlossenen Ausdruck zu erhalten. Praktisch verfährt man ganz im Sinne obiger Vorschrift: es ist planimetrisch der Karte die Fläche F der Horizontalprojektion zu entnehmen; ebenso müssen in der Karte die Längen l_1, $l_2 \ldots l_n$ sämtlicher in betracht kommender, um je d Längeneinheiten von einander abstehender Niveaulinien gemessen werden, und dann ist der Bruch $\dfrac{d\,(l_1 + l_2 + \ldots + l_n)}{F}$ eben die Tangente des mittleren Böschungswinkels.

Fig. 143.

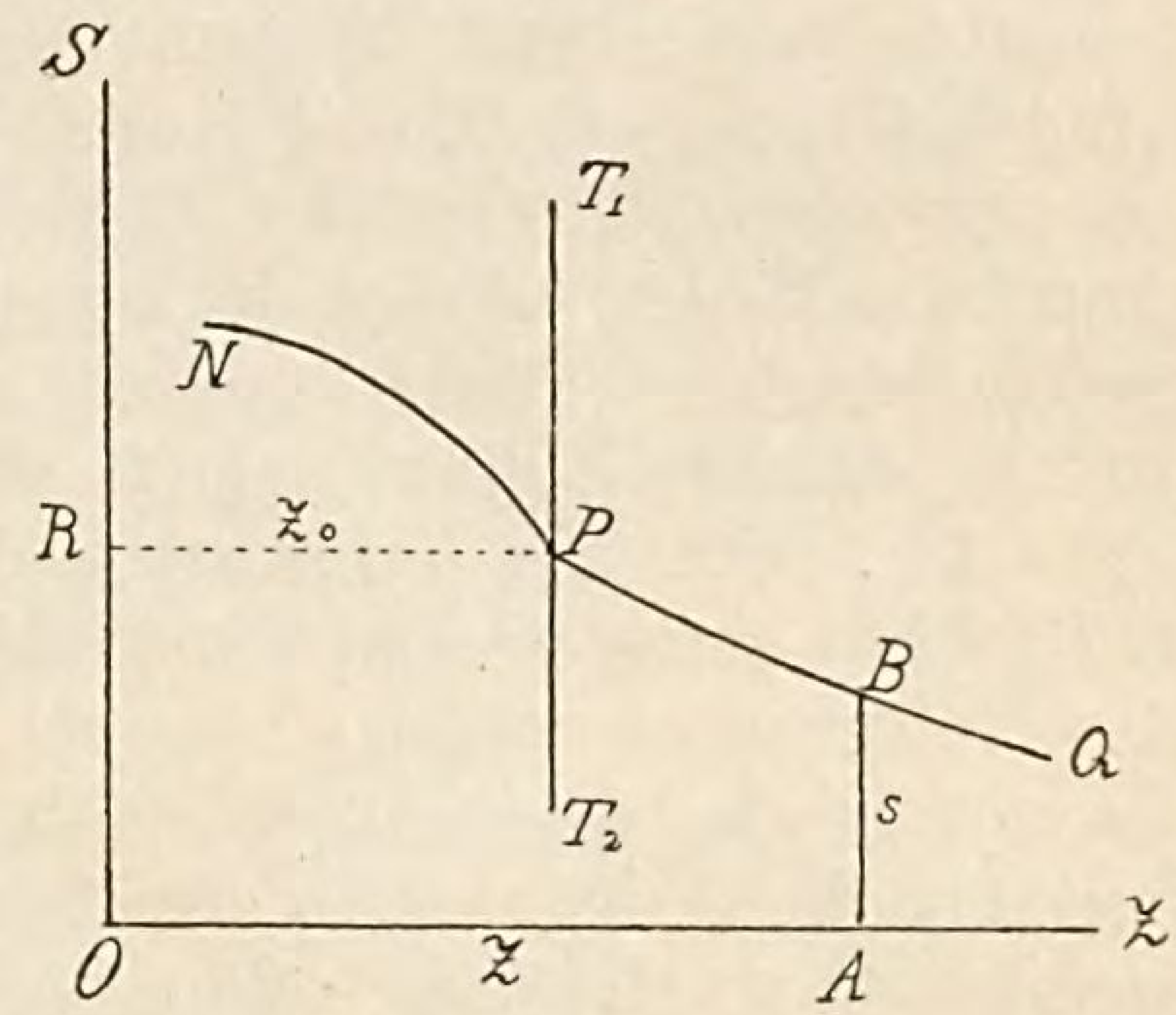


Im Durchschnitte lässt sich diesem mühsamen Berechnungsmodus ein kürzerer substituieren, den *Penck* angegeben, dessen Giltigkeitsgrenzen *Finsterwalder* scharf umschrieben hat. Denken wir uns wieder, die Böschungsfläche sei eine geometrisch regel-

[1]) Dieser Winkel wird gemeint, wenn man sagt, dass auch im Hochgebirge die Böschungen meist sanfte und nur ausnahmsweise sehr schroffe seien.

mässige, so kann die Abhängigkeit der Isohypsenlänge l von der Höhe z der Ebene, in welcher die Kurve verläuft, durch eine Gleichung von der Form $f(l, z) = o$ dargestellt werden. Trägt man dann die l als Ordinaten, die z als Abszissen eines Orthogonalsystemes auf, so kann man die sogenannte *hypso-* oder *klinographische Kurve* konstruieren. Liegt dieselbe gezeichnet vor, und hebt man das gemischtlinige Trapez T heraus, welches einerseits von der Kurve und der Abszissenachse, andererseits von den zur grössten und kleinsten Höhe gehörigen Ordinaten begrenzt wird, so ist $T = d \sum_{i=1}^{i=n} l_i$, und es ist somit die Bestimmung der Tangente des mittleren Böschungswinkels lediglich zu einer Aufgabe der mechanischen Planimetrie geworden.

Fig. 144.



Nur kann man fragen, ob die klinographische Kurve, welche u. a. *Heiderich* bei seiner Berechnung der mittleren Höhe von Afrika gute Dienste geleistet hat, stets so einfach gestaltet ist, dass obige Verwendung derselben zu keinen Irrtümern Veranlassung geben kann. Hierauf gibt *Finsterwalders* Untersuchung Antwort. Die in Rede stehende Linie hat für jeden Sattelpunkt eine *Spitze mit vertikaler Berührenden,* für jeden Gipfelpunkt eine *Knickung mit ebensolcher Berührenden.* Wie letzteres zu verstehen, lehrt *Fig. 144,* in welcher LOZ das Koordinatensystem, NPQ die klinographische Kurve, $OA = z$ und $AB = l$ je eine der Koordinaten irgend eines Punktes B der Linie repräsentiert. P ist der Knickungspunkt; ihm eignet eine Abszisse $= z_o$, und da in dem für den Differentialquotienten $dl : dz$ bestehenden Ausdrucke im Nenner $\sqrt{z_o - z}$ vorkommt, so muss, wenn $z = z_o$ wird, eine Unstetigkeit sich ergeben, wie sie aus unserer Zeichnung ersichtlich ist. Legt man in P an den Kurvenast NP eine Tangente $T_1 T_2$, so bildet dieselbe mit OZ rechte Winkel. Trotzdem kann in den Gebieten, welche keine ausgezeichneten Punkte einschliessen, die klinographische Kurve unbedenklich angewendet werden, und zwar sowohl für die eigentliche Winkelmessung als auch für die mit dieser in engster Fühlung stehende Flächenbestimmung.

III. Will man letztere in möglichster Strenge durchführen, so zerlegt man, wie dies z. B. *Kurowski* bei der Ausmessung des vergletscherten Terrains im Oetzthale gethan hat, die Oberfläche F in lauter als eben zu betrachtende Parzellen $F_1, F_2 \ldots F_n$, sucht für jede derselben den Böschungswinkel $\beta_1, \beta_2 \ldots \beta_n$, misst auf der Karte mit dem Planimeter die Grösse der resp. zu $F_1 \ldots F_n$ gehörigen Projektionen $F_1' \ldots F_n'$ und kann dann nach dem Lehrsatze, dass die Orthogonalprojektion eines ebenen Flächenstückes

gleich diesem, multipliziert mit dem Kosinus des Neigungswinkels, sei,

$$F = F_1 + F_2 + \ldots + F_n = F_1' \sec\beta_1 + F_2' \sec\beta_2 + \ldots + F_n' \sec\beta_n$$

setzen. Ein von *Penck* angegebenes, erheblich abkürzendes Näherungsverfahren[1]) muss allerdings Gebieten von allzu starker Böschung aus dem Wege gehen. Bequem und allgemein giltig ist hingegen die *Finsterwalder*sche Regel. Man zerfällt die Projektion des auszumessenden Areales auf der Fläche in drei Bezirke F_1, F_2, F_3, welche der Hauptsache nach Böschungen von 0°—10°, 10°—20°, 20°—30° enthalten, bestimmt für jeden Bezirk nach der früher erteilten Vorschrift das Tangentenmittel der Böschungswinkel A_1, A_2, A_3 und hieraus diese drei Winkel selbst. Jetzt kann man auch deren Sekanten aufschlagen, und alsdann darf mit starker Annäherung die Summe $(1{,}0013\, F_1 \sec A_1 + 1{,}0028\, F_2 \sec A_2 + 1{,}0053\, F_3 \sec A_3)$ als der gesuchten Fläche F gleichwertig angenommen werden. In einzelnen Fällen müssen die konstanten Faktoren, mit denen $F_i \sec A_i$ multipliziert ist, durch andere, der Terrainbeschaffenheit sich besser anschmiegende Zahlen ersetzt werden.

IV. Für die Ermittlung des kubischen Inhaltes bediente sich *v. Sonklar* einer gar zu schematischen, der unbegrenzten Variabilität der Natur allzu wenig entsprechenden Hypothese: Jede Kette sollte als ein grades dreiseitiges Prisma, das auf einer seiner rechteckigen Seitenflächen liegt, aufgefasst und berechnet werden. Man hatte wenig beachtet, dass schon vor *v. Sonklar* bereits der böhmische Geodät *Kořistka*[2]) eine weit rationellere Formel für die Kubierung von Gebirgsmassen aufgestellt hatte; auf diese ist in neuerer Zeit von verschiedenen Schriftstellern aufmerksam gemacht worden, und man kann ihre Entstehung sogar auf den englischen Mathematiker *Simpson* (1710—1761) zurückleiten. Wenn wir $(2m-1)$ Horizontalschnitte durch das Gebirge legen, die resp. die gleiche Entfernung d von einander haben, und wenn f_1, f_2, f_3 . . . die Areale dieser einzelnen Querschnitte bedeuten, so ist nach *Kořistka* das Volumen des Gebirges gleich

$$\frac{d}{3}\left(f_1 + 4f_2 + 2f_3 + 4f_4 + 2f_5 + 4f_6 + \ldots + 2f_{2m-3} + 4f_{2m-2} + f_{2m-1}\right).$$

Eine andere, ebenfalls sehr brauchbare Kubierungsmethode ist diejenige von *Richieri*.

Die Wasserscheiden. Wenn von der Abwechslung zwischen Berg und Thal die Rede ist, für welche beide Oberflächengebilde wir vorstehend die morphographische Definition zu erlangen bestrebt

[1]) Gestützt auf *Böhm*, hat *Beneš* die Projektionsareale für die einzelnen grossen Gruppen der Ostalpen planimetrisch bestimmt, so dass sich also darauf eine Berechnung der Oberfläche selbst begründen liesse.

[2]) *Kořistka*, Studien über die Methoden und die Benützung hypsometrischer Arbeiten, nachgewiesen an den Niveauverhältnissen der Umgebung von Prag, Gotha 1858.

waren, so richtet sich unwillkürlich der Gedanke darauf, dass Erhebungen, welche zwei wie immer beschaffene Hohlformen von einander trennen, zugleich als *Wasserscheiden* zu gelten haben. Es gab eine Zeit, und sie liegt nicht sehr lange hinter uns, da man sich die Beziehung sehr einfach dachte; wenn das hydrographische Netz eines Landes vorlag, so zeichnete man zwischen je zwei Wasserläufen von benachbartem Ursprung eine Gebirgskette ein, und das Kartenbild war fertig. So einfach aber sind die Verhältnisse keineswegs immer gelagert, ja es ist sogar nicht ganz leicht, eine stets zutreffende Begriffsbestimmung des Wortes Wasserscheide zu geben [1]). Will man allgemein verfahren, so darf man nicht ausser acht lassen, dass jeder Bergkamm, jeder Hügelrücken schon die fragliche Eigenschaft besitzt, denn es fliessen von ihm die darauf fallenden meteorischen Gewässer nicht nach einer Seite, sondern nach verschiedenen Seiten ab. Die Wasserscheide ist zwar im allgemeinen eine Linie, die aber auch — eben bei einem spitz zulaufenden Hügel — zu einem Punkte zusammenschrumpfen kann. Wenn wir mit *Boussinesq* als *Linie des stärksten Falles* auf einem Berghange jene gegen den Thalweg angenähert asymptotisch (S. 357) verlaufende Kurve definieren, welcher rinnendes Wasser wirklich folgt, so können wir uns zu folgender, wohl alle Möglichkeiten umfassender Definition erheben:

Ein über begrenzter Basis sich erhebender Gebirgsteil habe n Abhänge oder Flanken, und für jede solche Flanke existiere ein System von (einfach unendlich vielen) Linien des stärksten Falles. Jede Linie, welche zwei verschiedene Systeme dieser Art so trennt, dass von ersterer jede Fallinie ihren Ausgang nimmt, kann als Wasserscheide bezeichnet werden.

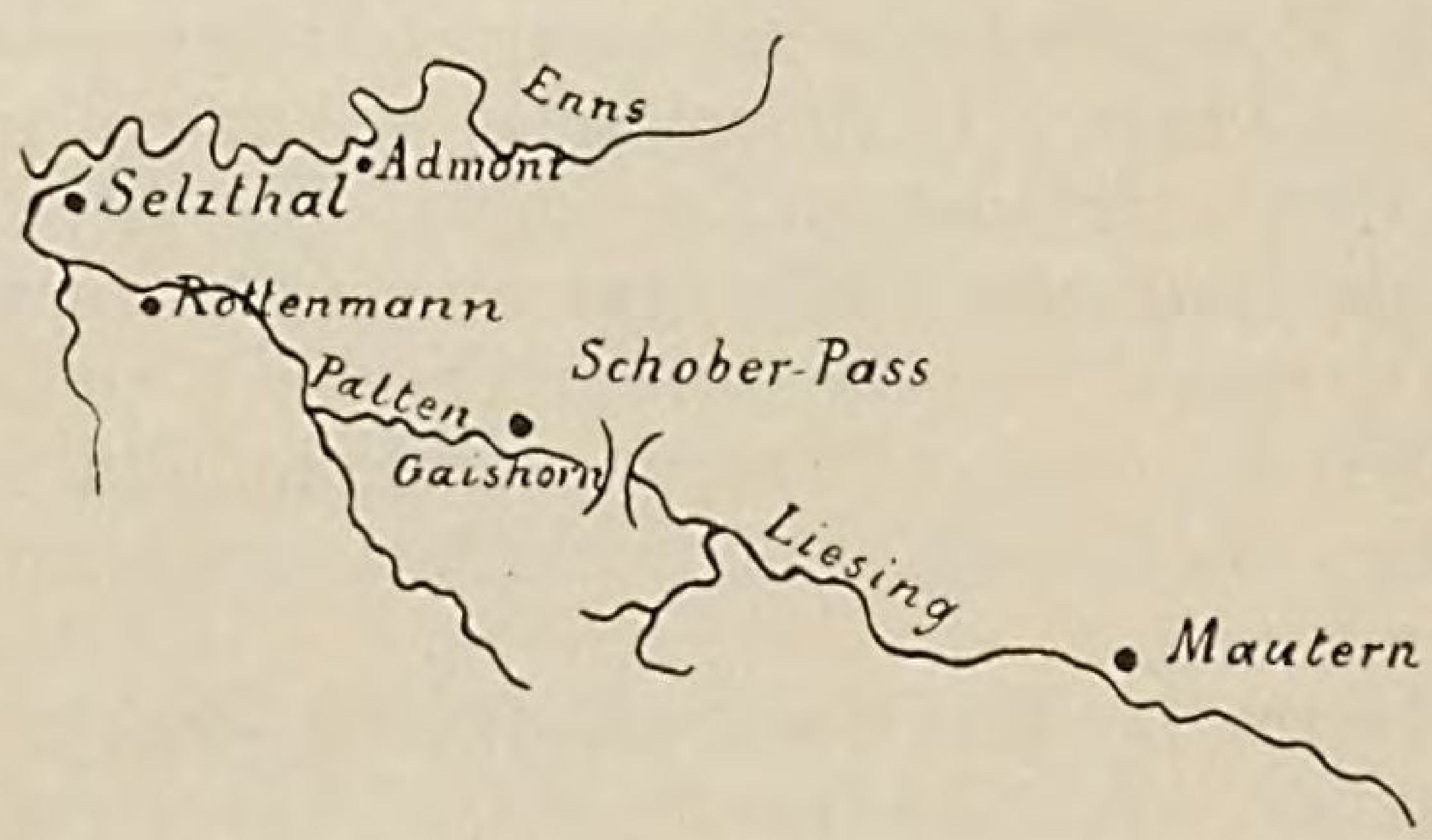
Liegt ein gewöhnliches Kettengebirge vor, so sind nur $n=2$ Flanken und es ist nur die einzige Wasserscheide vorhanden, welche man auch Kammlinie (s. o.) nennt. Für einen Kegelberg ist dagegen $n=\infty$, und statt der wasserscheidenden Linie gibt es nur noch, in der Spitze nämlich, einen einzigen wasserscheidenden Punkt.

Wir stellen die *Hauptwasserscheiden* eines grösseren Teiles der Erdoberfläche, eines Kontinentes z. B., den nur in der Spezialkarte geographisch zu erforschenden *Lokalwasserscheiden* gegenüber. Erstere helfen das Relief der Erde mitbestimmen, wie dies unsere Alpen thun, welche den einerseits zu den Nordmeeren und zum Pontus, andererseits zum Mittelländischen Meere strömenden Flüssen ihren Lauf anweisen. Spalten sich Wasserscheiden dieser Art, um sich nachher wieder zu vereinigen, so müssen davon Wannengebiete ohne Abfluss (S. 436) die Folge sein. Im Gebirge nehmen die sogenannten *Thalwasserscheiden* ein besonderes Interesse in Anspruch; es sind dies wenig merkliche Bodenauftreibungen an der Sohle eines Längs-

[1]) Hierzu, sowie auch im übrigen zur Morphologie der Scheidelinien, welche eine ungleich mannigfaltigere ist, als unser kurzer Abriss vermuten lassen kann, ist die auch auf die grundlegenden theoretischen Arbeiten von *Boussinesq* bedacht nehmende Spezialschrift von *Philippson* „Studien über Wasserscheiden" (Leipzig 1886) zu vergleichen.

thales, ohne dass dessen Seitenwände durch das Vorhandensein dieser Anschwellung der Schichtenstellung oder der geognostischen Beschaffenheit nach irgend beeinflusst wären. Wohl das bekannteste Beispiel einer Thalwasserscheide bietet sich im Pusterthale dar; der Toblacher Sattel sendet nach Osten die Drau aus, während von seinem Westabhange die Rienz herabrinnt. Im kleinen Massstabe zwar, aber eben deswegen zum Vorteile der Uebersichtlichkeit, ähnelt diesem Terrainbilde dasjenige, welches das Weissenbachthal im Salzkammergute gewährt. Nahe bei der in der Mitte des Thälchens gelegenen „Umkehrstube“ entspringt der Mitter- und der Aussenweissenbach, und beide Bäche nehmen eine genau entgegengesetzte Richtung, indem ersterer der Traun, letzterer dem Atter-

Fig. 145.



See zueilt. Merkwürdig wenig ist jedoch in der Litteratur von der vielleicht bemerkenswertesten Thalwasserscheide am *Schober-Passe* die Sprache, und doch verdient dieselbe von der Verkehrsgeographie, welche überhaupt alle bezüglichen Vorkommnisse sorgsam zu sammeln verpflichtet sein sollte, besonders beachtet zu werden: *ist doch hier die einzige Gelegenheit gegeben, um ohne irgendwelche Bergbesteigung*[1]) *von der Nordseite der Alpen an deren Südseite zu gelangen.* Dies erhellt aus *Fig. 145*, wenn noch hinzugefügt wird, dass Rottenmann 680, Gaishorn 722, die „Passhöhe“, wenn dieser Ausdruck gestattet ist, 849 und Mautern 713 Meter über dem Spiegel der Adria gelegen ist und dass die Längendistanzen zwischen den einzelnen Orten ziemlich bedeutende sind[2]).

[1]) Alle Pässe, auch selbst die niedrigeren, wie Brenner und Splügen, sind doch, an den Verhältnissen des Flachlandes gemessen, ganz stattliche Berge, während auch dann, wenn man diesen Masstab anlegt, der Toblacher Riegel und der Schober-Pass nichts anderes als unmerkliche Terrainschwellen bleiben.

[2]) Wer den Schober-Pass überschritten hat, der muss allerdings noch vor dem Eintritt in die italienische Ebene zwei andere Thalwasserscheiden passieren, die aber gleichfalls so niedrig sind, dass der Bahnbau sie ohne besondere Mühe zu überwinden vermochte. Zunächst muss nämlich bei St. Lambrecht der Sattel zwischen Mur und Drau (eigentlich der in die Gurk mündenden Olsa) überwunden werden, und später geht es bei Tarvis über die noch unbestimmtere Bodenschwelle, welche das Gebiet der Drau von dem des Tagliamento im sogenannten „Kanalthale“ trennt.

Den Thalwasserscheiden sind jene noch weniger ausgeprägten, völlig charakterlosen Trennungsgebiete an die Seite zu stellen, welche wir *Flachlandwasserscheiden* nennen möchten, und welche der Fuss des Wanderers überschreitet, ohne dass dieser nur den Eindruck einer Bewegung nach aufwärts empfängt. Wir denken da in erster Linie an das geschichtlich berühmte Gelände zwischen Altmühl und Schwäbischer Rezat bei dem mittelfränkischen Marktflecken Treuchtlingen, wo seinerzeit *Karl der Grosse* einen Durchstich zur Verbindung der Nordsee mit dem Schwarzen Meere zu machen beabsichtigte. Das klassische Land der *schwach markierten Wasserscheiden* ist jedoch Afrika. Die Flüsse greifen hier nicht selten, wie dies *Stapff* übrigens auch bezüglich der von den skandinavischen *Fjelds* resp. nach Norwegen und Schweden abfliessenden Wasserläufe bemerkt, ähnlich wie die Finger der beiden zusammengelegten Hände in ihre gegenseitigen Gebiete ein, so dass das Ziehen einer eigentlichen Wasserscheide auf der Karte auf das äusserste erschwert wird. Erst durch *Casati* haben wir eine verlässliche Abgrenzung der Stromgebiete des *Kongo* und des *Nil* erhalten. Dazu kommt noch, dass bei reichlichen Niederschlägen, also in der tropischen Regenzeit, die kraftlos modellierten Wasserscheiden vom Inundationswasser überschwemmt und nasse Verbindungen zwischen an sich nicht zusammengehörigen Systemen geschaffen werden [1]).

Eine den europäischen Gebirgen mangelnde [2]), dafür aber in den Alleghanies wie in den asiatischen (zumal den chinesischen) Bergländern häufige Form der Wasserscheiden ist die aus dem *rostförmigen Bau* der Gebirge, wie sich *v. Richthofen* ausdrückt, hervorgehende. Die Gewässer folgen einige Zeit den Einsenkungen zwischen zwei nächst benachbarten Parallelketten, dann aber folgt immer wieder ein kurzes Querthal, durch welches hindurch der Fluss sich den Weg zu einem neuen Längsthale gebahnt hat, freilich nur, um es sehr bald wieder auf dieselbe Weise zu verlassen.

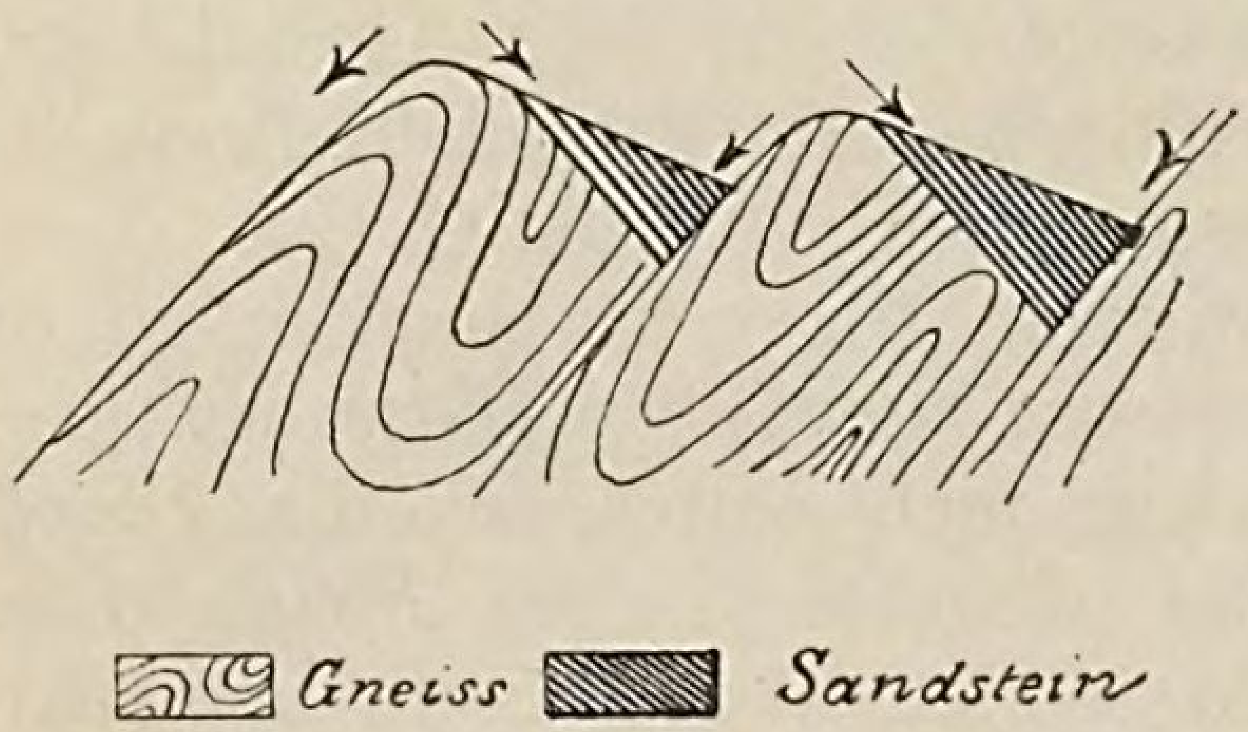
In Schollenländern, wie wir sie vorhin (S. 439) kennen lernten, wird sich häufig eine deutliche Abhängigkeit der Lage der Wasserscheiden einerseits von der Tektonik und andererseits vom stratigraphischen Verhalten des Gebirges offenbaren. Ein Beispiel statt vieler

[1]) Von *Wisotzki* wird darauf hingewiesen, dass in Afrika ebenso wie in Südamerika ein *Stromgebiet* nicht immer mit dem zugehörigen *Entwässerungsgebiete* übereinstimmt, weil unterirdische Wasserläufe, die noch zu letzterem gehören, mitunter weit über die sichtbaren Grenzen des ersteren hinaus führen. Am Limpopo und Zambesi hat *Mauch* dahin zielende Wahrnehmungen gemacht, und einer der gründlichsten Kenner des oberen Nilgebietes, *De Pruyssenaere*, dessen Reiseberichte durch *Zöppritz* eine vortreffliche Bearbeitung erfahren haben, betont im besonderen, dass oft ein afrikanischer Fluss auf längere Strecken verborgen im Sande dahinzieht (vgl. S. 337). *Kesselteiche*, gefüllte Stellen in einem sonst ausgetrockneten Flussbette finden sich nach *Middendorff* ebenso in den grossen Strömen Nordasiens, wie solche Tümpel, die nur durch Infiltration von den gegen den Fluss hin abfallenden Schichten gespeist werden, von *Marno* als eine typische Eigentümlichkeit der westlichen Zuflüsse des Bahr el Asrek während der Trockenzeit geschildert worden sind.

[2]) Nur im Jura lässt sich einigermassen eine rostförmige Anordnung erkennen.

möge zur Erläuterung dienen. Das Schollengebirge in der chinesischen Provinz Schantung weist durchgehends, wie *Fig. 146* klar macht [1]) stark dislozierten, gefalteten Gneis mit darüber liegendem, seit der Sendimentation wenig gestörtem kambrischen Sandstein auf. Jede einzelne Scholle ist in dem Sinne gedreht, wie es hier dargestellt ward. Am höchsten Teile einer jeden Scholle tritt die sonst verhüllte Urgebirgsformation zu tage und bildet die Wasserscheide, von welcher aus, nach Massgabe der Pfeile, das Wasser beiderseits abströmt.

Fig. 146.



Wasserscheiden sind nichts *konstantes*, sie sind vielmehr nach Lage und Grösse ihrer Vertikalentwicklung *veränderlich*. Von der Art und Weise aber, wie diese Verschiebung und Verkleinerung der wasserscheidenden Erhebungen sich vollzieht, wird am besten bei der Lehre von der Entstehung der Thäler überhaupt zu handeln sein.

Theorie der Thalbildung. Von der Bildung der abflusslosen Wannen sehen wir ab, indem wir uns auf diejenige der Längs- und Querthäler beschränken. Ohne die Bedeutung der uns aus dem vorigen Abschnitte bekannten thatbildenden Kräfte zu unterschätzen, können wir doch vonvornherein die Möglichkeit nicht ausschliessen, dass auch auf anderem als auf erosivem Wege Thaleinschnitte zustandegekommen sein können.

Die ältere Geologie war sehr geneigt, allenthalben *Spaltenbildung* als die eigentlich ursprüngliche Erscheinung gelten zu lassen, denn dies entsprach dem kataklysmatischen Charakter, welcher (vgl. die Abschnitte IV und V) dem noch vor hundert Jahren herrschenden Ideenkreise eigentümlich war. Vielleicht hat man sich dann später allzu skeptisch gegen diese Art der Entstehung verhalten. Wir haben oben (S. 111) *Daubrées* theoretische Untersuchungen über die Bildung *klastischer Thäler* kennen gelernt, welche *Hettner* in der Sächsischen Schweiz bis zu einem gewissen Grade praktisch bestätigt gefunden hat; wir können an *Kjerulf*, den ersten unter den Geologen Norwegens, erinnern, der konsequent die Ansicht vertrat, in seinem Vaterlande habe die Erosion nur wenig gethan, alle Längsthäler vielmehr, vorab die vom Fjord von Christiania ausgehenden, seien durch Berstungen der Erdrinde vorgezeichnet. So verdienen denn auch die von *Hartung* am Jutulhugget („Riesenhieb") in eben diesem Lande gemachten Beobachtungen vollste Beachtung; es ist ein Trockenthal (S. 437), aber ohne jede Spur erosiver Arbeit, und ursprünglich jedenfalls so schmal, wie dies bei Naturspalten zu erwarten ist.

[1]) Es sei noch besonders bemerkt, dass diese Zeichnung nicht perspektivisch sein, sondern bloss einen Vertikaldurchschnitt darstellen soll.

Allerdings hat *Penck,* der auch in diesen Bildungen Korrasionswirkungen erblickt, jene Erklärung nicht unwidersprochen gelassen. Aber dadurch, dass *G. K. Gilbert* in dem Wüstengebiete *Utahs,* südlich vom grossen Salzsee, Klüfte aufgefunden hat, welche erst in jungquartärer Zeit aufgebrochen sein können, und welche in ihrer deutlichen Anordnung nach zwei Systemen von Parallelsprüngen sich ebenfalls der von *Daubrée* aufgestellten Norm unterordnen, scheint doch die Zulässigkeit dieser auch dynamisch nicht abzuweisenden Vorstellung eine neue Stütze empfangen zu haben. Man kann dabei mit *Leconte* an Schrumpfung thonhaltiger Massen in der Erdkruste, man kann mit wohl noch grösserem Rechte an eine postglaziale Zusammenziehung des Erdkörpers von etwas grösserer als der gewöhnlichen Energie denken, jedenfalls gibt es Längseinschnitte in die Erdoberfläche, die ihren Ursprung auf ein lokales, oberflächliches Aufbrechen der Erdrinde zurückführen lassen. Auch *Tietze,* der sich um die Fortbildung der Lehre von der Korrasion (S. 417) grosse Verdienste erworben, gibt die Existenz klastischer Thäler zu, und ein gleiches, wenn schon in noch beschränkterem Masse, thun *De la Noë* und *De Margerie,* welche uns mit einer systematischen, alle wesentlichen Punkte dieser Frage übersichtlich gruppierenden Gesamtdarstellung [1]) beschenkt haben [2]). *Dunker* leitet sogar aus der Gestalt der Taminaschlucht bei Pfäffers die überraschende Thatsache her, dass Spaltenbildung die Thalbildung nicht nur einzuleiten und zu befördern, sondern auch in diese unter Umständen hemmend einzugreifen imstande sei.

Wenn es wirklich Spaltenthäler gibt [3]), so haben wir dieselben als einen Spezialfall der von uns oben (S. 437) aufgestellten tektonischen Thäler anzusprechen, denn Umsetzungen in der Lithosphäre waren doch die Ursache der bis an die Oberfläche hinaufreichenden Bewegungen. Nicht gerade zu den Spaltenthälern, wohl aber zu

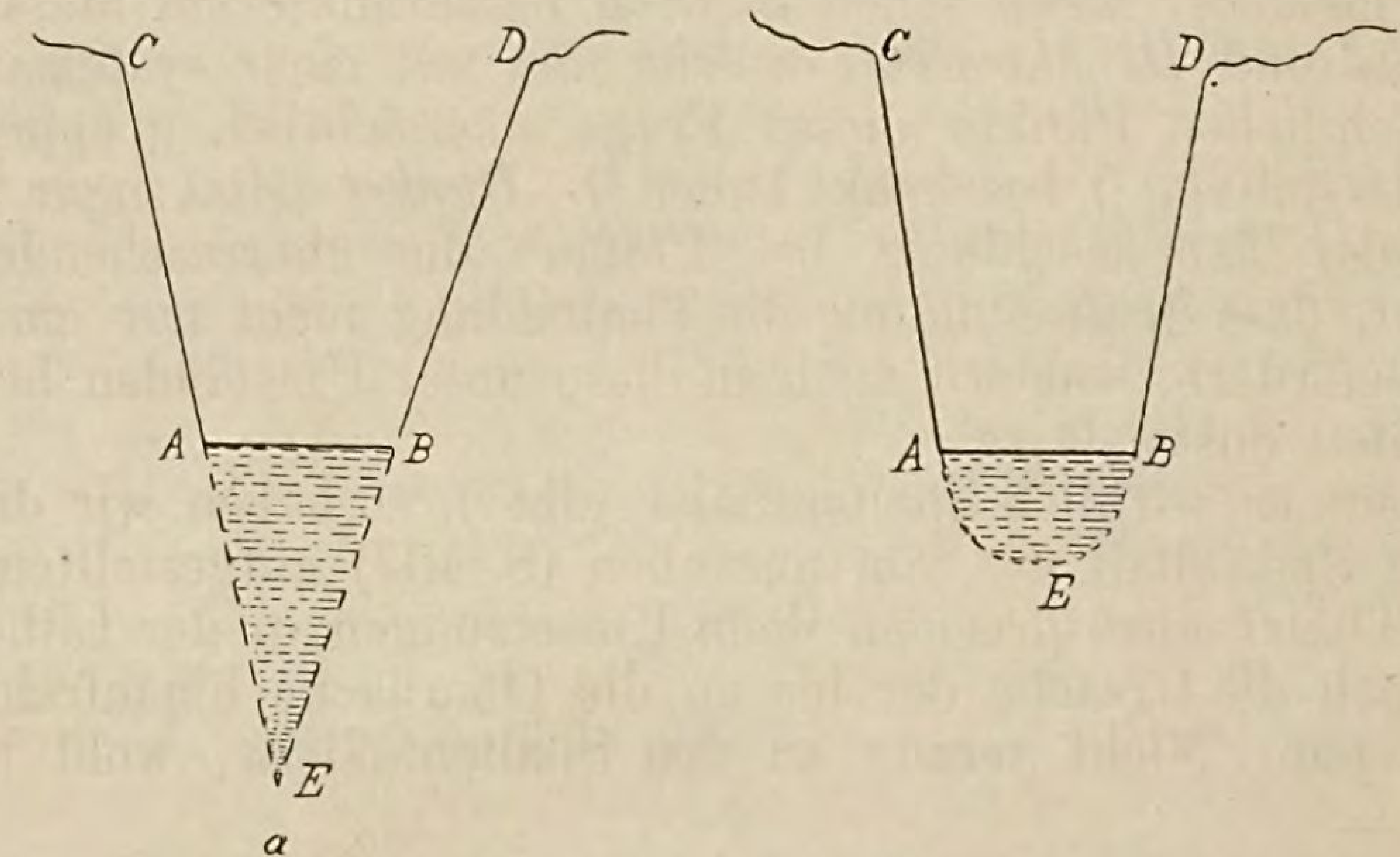
[1]) *De la Noë-De Margerie, Les formes du terrain,* Paris 1888.

[2]) Unentschieden müssen wir es lassen, inwieweit mit den gewissermassen das Integral darstellenden grossen Erdspalten jene feinen, differentiellen *Haarspalten* auf die gleiche Stufe zu stellen sind, welche *Brun* im Granit hoher Alpenkämme bemerkt und mit dem Namen *Leptoklasen* bezeichnet hat. So gering der Durchmesser dieser Hohlräume auch ist, so sollen sie doch, im entschiedensten Gegensatze gegen die Kapillarspalten der Gletscher (S. 381), die Zirkulation des Wassers ermöglichen. Wahrscheinlich stimmen mit *Bruns* Leptoklasen jene *Vibrationsrisse* überein, auf welche *v. Löffelholz* aufmerksam gemacht hat.

[3]) Dass sehr häufig bei ungenauer Betrachtung Thäler für Spalten erklärt wurden, die in Wahrheit nichts weniger als solche sind, diese Thatsache wird durch unsere, wie wir hoffen, objektive Abwägung der Möglichkeiten gewiss nicht beeinträchtigt. Einem drastischen Falle dieser Art entspricht *Fig. 147*; sie soll den Querschnitt des Felsthales darstellen, welchen der südliche Arm des Vierwaldstättersees, zwischen Brunnen und Flüelen, einnimmt. *AC* und *BD* sind in *a* wie *b* beidemale die oberhalb des Spiegels des Sees gelegenen Thalwände. Man verlängerte dieselben in früherer Zeit (*Fig. 147a*) bis zum Durchschnitte in *E* und hatte so allerdings die charakteristische Form eines Spaltenthales erhalten; als man aber Lotungen anstellte, konnte *Heim* darthun, dass der Seegrund die stark abgerundete Profilform *AEB* (*Fig. 147b*) besitze, und damit war natürlich der Spaltentheorie der Boden entzogen.

den *durch Senkung, Bruch und Verwerfung eingeleiteten,* erst nachher von der Erosion modifizierten Thalbildungen können wir bei näherem Zusehen sehr viele dieser letzteren rechnen. So ist, wie schon erwähnt, das Jordanthal nur der Rand eines grossen Bruches, dessen einer Flügel abgesunken ist (S. 110); von hause aus mündete jener Fluss in den nordöstlichen Ausläufer des Roten Meeres, aber eine wahrscheinlich während der Pliozänperiode erfolgte Landerhebung schuf dem Thale den seitdem bestehenden *blinden* Abschluss. Aus der geognostischen Untersuchung der Wetterau durch *Kinkelin* ergab sich die Thatsache, dass diese Landschaft ein vielfach von Bruchlinien durchsetztes Senkungsfeld repräsentiert, und eine dieser Linien hat sich der Main auf seinem Laufe zwischen Höchst und Flörsheim als Thalweg ausgewählt. Dass im Bereiche der oberen Mulde die Gangrichtungen auf das Flussthal einen entschiedenen Einfluss ausübten, glaubt *Jakobi* nachweisen zu können. Die Korrasion knüpft

Fig. 147.



eben an jede vorhandene Unebenheit des Terrains an; dieselbe braucht nicht notwendig tektonischer, sie kann selbst wiederum alterosiver Natur sein. Nach dieser Seite hin bringen *Schneiders* Studien über die Thalbildung in der Eifel einen bemerkenswerten Beleg. Von unerwartet geringem Einflusse auf diesen Teil der Oberflächenskulptur haben sich die vulkanischen Kraftäusserungen bewiesen, welche allerdings zumeist erst in der Tertiärzeit das längst im Rohbau fertige Gebäude des Gebirges dekorativ umgestalteten. Eine paläozoische Bildung, stieg die Eifel mit der Oberfläche eines Abrasionsplateaus (S. 433) aus dem sie bedeckenden Meere empor; dass ein solches Plateau nicht absolut eben, sondern gewellt sein musste, ist leicht zu begreifen, und jede solche Bodenwelle wurde alsbald zum Embryo einer Wasserscheide, die flachen Höhlungen zwischen je zwei Wellen begann die Erosion auszuhöhlen und in die Längsthäler umzuwandeln, welche heute aus dem Gebirge nach der Mosel und dem Rhein führen.

Indem wir uns solche Ereignisse gegenwärtig halten und uns zugleich erinnern, dass von einer absolut glatten Fläche, die aus homogenem Stoffe besteht, sich nur eine Verwitterungsschicht von überall gleicher Dicke loslösen kann, erkennen wir, dass die Erosionsthätigkeit *Ansatzpunkte* finden muss, um sich mit ihrem ganzen Schwergewichte geltend zu machen. Unter diesem Gesichtspunkte schwindet der oben aufrecht erhaltene Gegensatz zwischen tektonischen und durch Skulptur entstandenen Thälern aus einem *prinzipiellen* zu einem mehr *graduellen* zusammen. Wir können die Grundbedingung für die Ausfurchung [1]) der meisten Thäler in einem von uns schon früher [2]) gebrauchten Satze formulieren:

Die Thäler sind Erosions- (strenger bezeichnet) Korrasions-Furchen, auf leise vorgezeichneter tektonischer Leitlinie eingegraben.

Wie freilich im Einzelfalle die Korrasion [3]) ihre Arbeit verrichtet, das kann noch nicht als ausgemacht gelten. *Tietze* hält dafür, dass die Aushöhlung in der Regel *von oben nach unten zu* fortschreite, so dass also der obere Teil eines Thales bereits im wesentlichen fertig wäre, wenn der untere erst allmälich in angriff genommen wird; *Löwl* dagegen erblickt (S. 418) allenthalben Wirkungen der zweifellos in vielen Fällen vorhanden gewesenen und noch vorhandenen *rückläufigen Erosion.* Physikalisch betrachtet sind beide Korrosionsmodalitäten möglich, und man wird nicht umhin können, die Lösung der Frage, ob da und dort diese Aufarbeitung des Gesteines im einen oder anderen Sinne vor sich gegangen sei, von einer besonderen Betrachtung des Terrains abhängig zu machen. Nicht unwahrscheinlich dünkt es uns, dass da, wo der Boden durchweg übereinstimmende Zusammensetzung hat, wo also das strömende Wasser auch durchweg gleich grosse oder gleich geringe Hindernisse für sein Zerstörungswerk vorfindet, dieses progressiv ausgeführt wird, während von dem Augenblicke an, wo die Korrasion auf schwieriger anzugreifenden Boden gelangt, wo sie in ihrem Fortschreiten sich sozusagen *staut,* die regressive Erosionsthätigkeit mit erneuter Energie einsetzen muss.

Bei der Ausschneidung der berühmten *Cañons* in Nordamerika (S. 96) dürfte wohl die progressive Korrasion das eigentliche Agens gewesen sein. Bis zu einer Tiefe von 3230 m — *Marble Cañon* — und von 5160 m — *Grand Cañon* — hat sich in das einförmige

[1]) Dass eine glaziale Ausfurchung ganzer Thäler nicht denkbar ist, wurde oben schon hervorgehoben. Das Problem der Seenbildung wird uns auf die gleiche Frage zurückführen.

[2]) *Günther,* Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, 2. Band, Stuttgart 1885. S. 638.

[3]) Auch die Evorsion (S. 417) kann wohl den Anstoss zur Entstehung eines Längsthales geben, indem sie in geringer Entfernung von einander kleine Hohlkessel aushöhlt, welche dann allmählich durch schmale Erosionsrinnen in gegenseitige Verbindung gebracht werden. Eine Erscheinung, welche *Ehrenburg* auf der Kykladen-Insel Milo beobachtete, schwebt uns bei dieser Annahme vor; er beschreibt ein im Vulkangebiete dieses Eilandes gelegenes Thal, welches in seinem Aussehen einer Perlenschnur gleiche, indem kurze Längsstrecken von zahlreichen flachen Mulden abgelöst würden.

Plateauland ein, wie *v. Richthofen* sagt, „labyrinthisches und grossartiges Erosionssystem“ eingesenkt. Die Entstehungsursachen dieser gigantischen Schlünde können als durch die Forschungen *Duttons* hinlänglich geklärt angesehen werden, vielleicht einzig die *Amphitheater* ausgenommen, trockene, vielfach verzweigte Seitenäste des Hauptthales. Am besten wird man das Wesen der Sache mit *Zöppritz* in folgenden Worten ausdrücken: *Bedingung der Cañonbildung ist ein niederschlagsreiches Hochgebirge, welches seine Gewässer unter bedeutendem Gefälle durch eine regellose Thallandschaft entsendet.*

Die regressive Erosion bethätigt sich in ihrer ganzen Kraft bei der *Zerstörung der Thalwasserscheiden.* Dass letztere ehemals, d. h. in altersgrauer geologischer Vorzeit, weit stärker ausgeprägt waren, als sie es gegenwärtig sind, unterliegt keinem Zweifel. Aus den trefflichen geognostischen Karten, welche unter *v. Gümbels* Leitung für Bayern angefertigt worden sind, zieht *Penck* den Schluss, dass jene flache Erhöhung, auf welcher man westlich von Ansbach die Wasserscheide zwischen Altmühl und Wörnitz — Donau — einerseits und Tauber — Main-Rhein — andererseits nur mit einiger Mühe herausfindet, in der mesozoischen Aera die Gestalt einer hohen Kuppel auf breiter Basis gehabt habe. Besonders instruktiv gestalten sich aber die Verhältnisse an der von *Heim* näher untersuchten Wasserscheide, welche das obere Engadin vom Bergell trennt. Aus der Lage und Anordnung der Thalterrassen ging nämlich hervor, dass die vom Maloja-Passe zum Lago di Como fliessende Mera (Maira), welche eine grössere Geschwindigkeit als der noch langsam strömende Inn besitzt, von jeher *Uebergriffe in das Gebiet des letzteren gemacht,* d. h. die Wasserscheide nicht bloss abgetragen, sondern auch in der Richtung gegen die Quelle des anderen Flusses hin verschoben hat [1]). *Thalwasserscheiden sind überhaupt,* hier können wir uns nur *Supan* anschliessen, *Erhebungen, die durch die rückläufige Erosion der beiden von ihnen in entgegengesetzter Richtung abfliessenden Wasserläufe erniedrigt worden sind und noch fortwährend erniedrigt werden.*

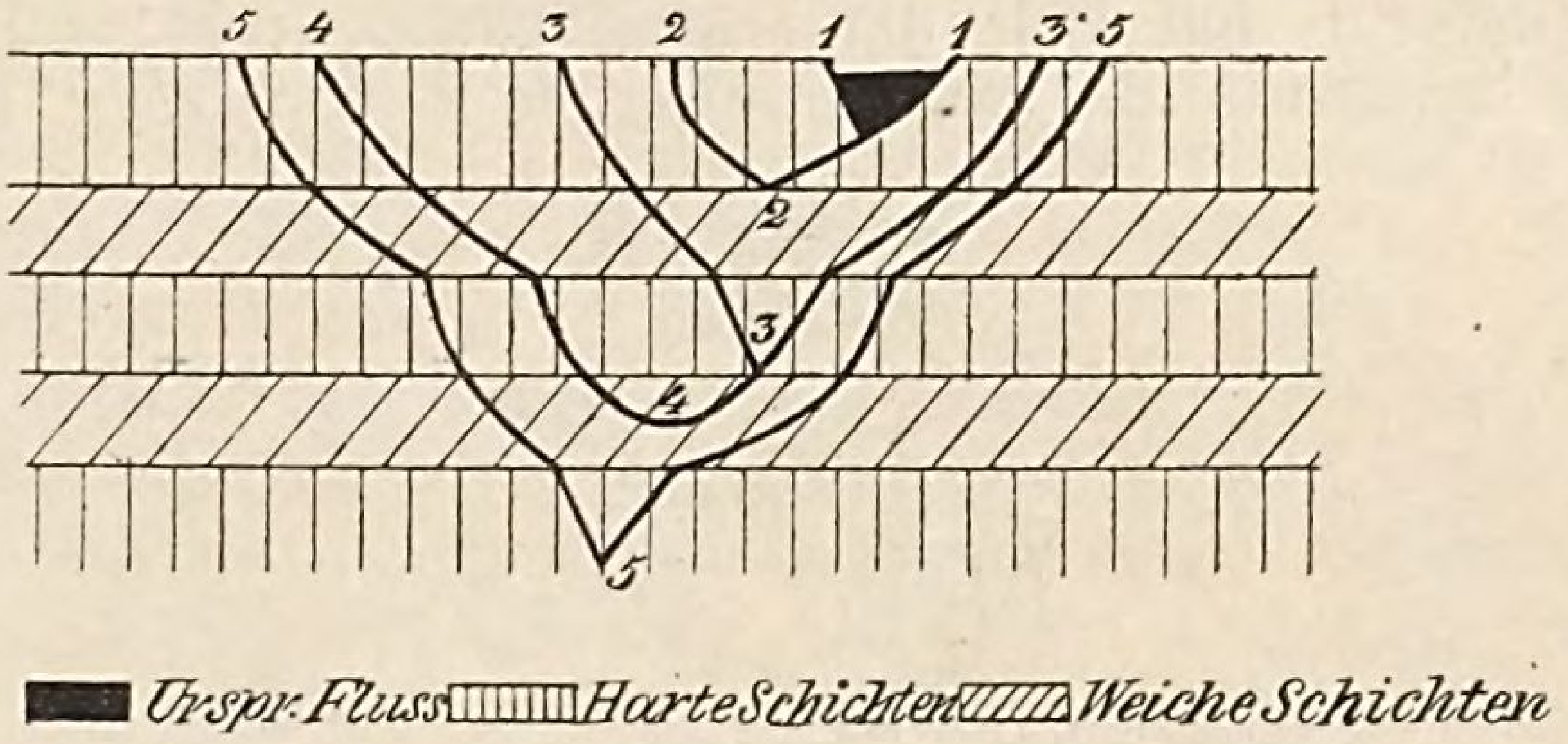
Nicht allein aber längs einer mit dem Stromstriche im wesentlichen zusammenfallenden Linie vermag die Erosion zu wirken, sondern auch *seitlich,* in einer zum Thalwege senkrechten Richtung. In *Fig. 148* sehen wir einen typischen Fall dieser *Lateralerosion,* nach *Philippson,* abgebildet. Wir haben es mit einem Flusse zu thun, welcher ohne sehr starkes Gefälle der Streichrichtung der seinen Untergrund bildenden Schichten folgt. Schon dadurch allein wird das Wasser nach der Seite hin gedrängt, nach welcher die Schichten fallen, und wenn dann noch, wie unser Diagramm zeigt, harte und weiche Schichten abwechseln, so kann es endlich dahin kommen, dass der Fluss, der sich ursprünglich in dem engen Thale *11*

[1]) Wir entsinnen uns, dass Berg- und Thalwinde auf den niedrigen Riegel des Maloja keine Rücksicht nehmen (S. 236). Man könnte so auf den Gedanken kommen, ein meteorologisches Kennzeichen dafür zu fixieren, ob eine Wasserscheide noch als Thalwasserscheide anerkannt werden solle oder nicht.

bewegte, durch die Zwischenstadien *122*, *333*, *3344* hindurch sich ein tief eingeschnittenes und mit seiner Achse um ein namhaftes im Sinne des Schichtenfalles verschobenes Thal errungen hat, in der Figur mit *555* bezeichnet[1]).

Wir werfen noch einen Rückblick auf die Erörterungen, zu welchen uns das Problem der Entstehung der Längsthäler Veran-

Fig. 148.



lassung gegeben hat. Ohne behaupten zu wollen, dass die Vielzahl der Naturspiele von uns auch nur einigermassen erschöpft sei, halten wir uns doch berechtigt, die ungeheure Mehrzahl der Longitudinalthäler, so wie sie heute uns erscheinen, als ein *Endprodukt der Erosion durch fliessendes Wasser* hinzustellen. Es bewahrheitet sich der schon im vorigen Jahrhundert von einsichtigen Geologen ausgesprochene Satz: „*Decursus aquarum vallem facit*" [2]). —

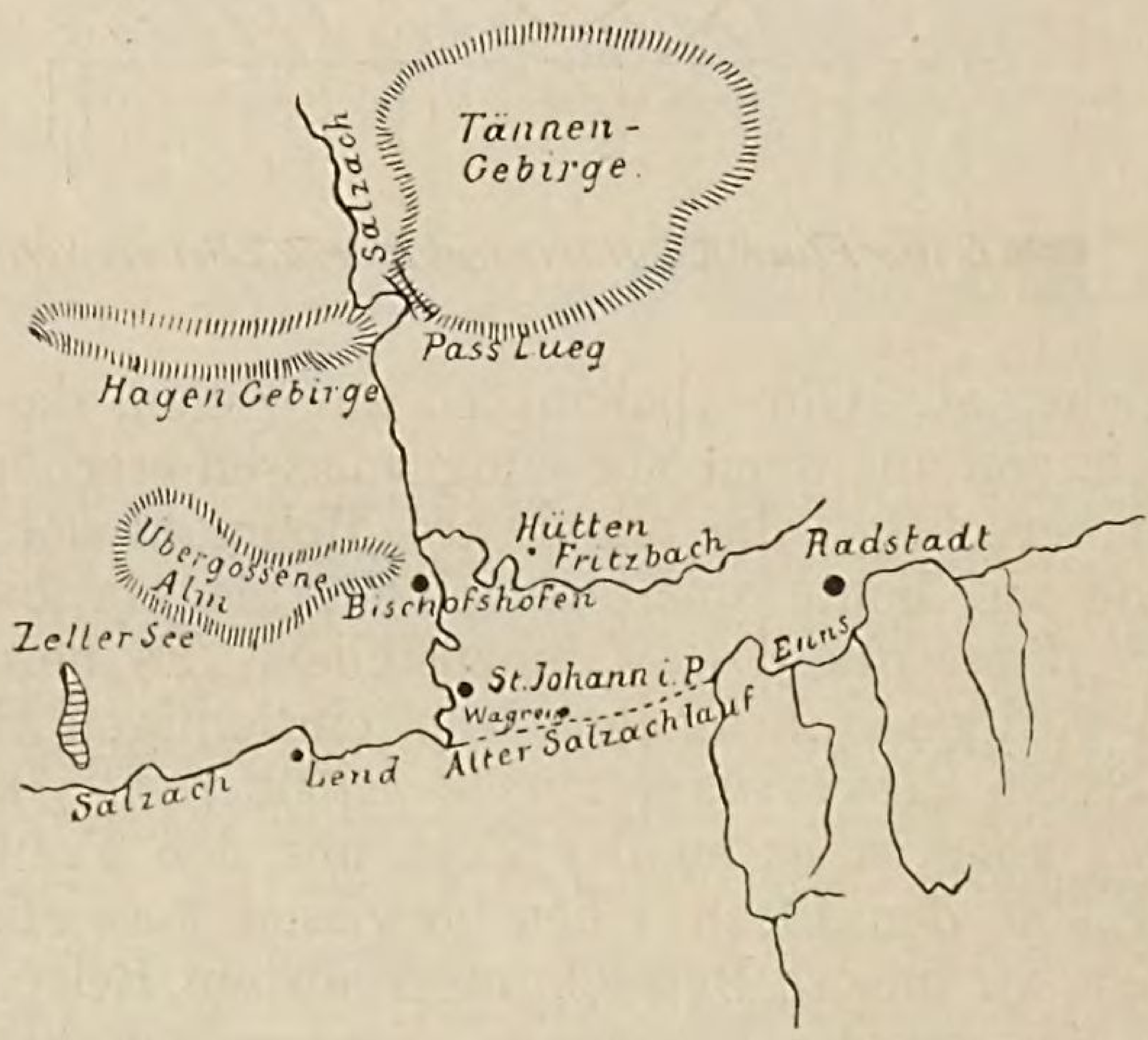
Nunmehr aber ist es an der Zeit, uns den Transversalthälern zuzuwenden. Um den Ideen einen gewissen äusserlichen Halt zu geben, knüpfen wir unsere Betrachtungen an ein Beispiel an, welches wohl sehr vielen unserer Leser aus eigener Anschauung bekannt ist, nämlich an das *Durchbruchsthal der Salzach* (*Fig. 149*). Von seinem Ursprunge an strömt dieser Fluss durch ein Längsthal von charakteristischer Beschaffenheit hindurch, durch den oberen und unteren Pinzgau, in einem Thale also, welches umso leichter durch gewöhnliche Korrasion ausgewaschen werden konnte, als die Bergketten, welche es trennt, aus grundverschiedenem Materiale bestehen — nördlich Alpenkalk, südlich Urgebirge. Geologische Gründe machen es so gut wie gewiss, dass die Salzach durch ungeheure Zeit-

[1]) *Philippson* meint, das schmale Band, welches sich, westlich von Toul, nur noch zwischen Mosel und Maas hinziehe, sei das Ergebnis fortgesetzter Lateralerosion seitens des erstgenannten Flusses. Da würden unsere fernen Nachkommen sich wohl vor ein sehr merkwürdiges Vorkommnis von Flussvermischung (S. 358) gestellt sehen. Nicht unmöglich, dass es mit der in der Geschichte der grossen Völkerbewegungen eine Rolle spielenden Enge von Zaritzyn (zwischen Don und Wolga) die nämliche Bewandnis hat.

[2]) *Penck*, der auf diesem Gebiete dankenswerte geschichtliche Studien gemacht hat, führt als Vorläufer der modernen Thalbildungslehre *Bourguet, Buffon, Werner, Lamarck, Rimrod, Hutton* und *Playfair* auf. Vor allen anderen aber komme in betracht *J. L. Heim* mit seinem „Geolog. Versuch über die Bildung der Thäler durch Ströme" (Weimar 1791).

räume einen anderen Lauf als heutigentages hatte, dass sie nämlich mit der Enns, wie es unsere Figur ersichtlich macht, in Verbindung stand, indem sie die Senke von Wagrein durchströmte. Ein tektonisches Ereignis hob, mutmasslich gegen das Ende der Tertiärzeit, dieses Terrainstück, so dass die Salzach also zwischen Lend und St. Johann im Pongau die bekannte Knickung erlitt und zum Ausweichen nach Norden gezwungen wurde. Hier legte sich ihr aber der gewaltige Gebirgsstock vor, welcher durch den Pass Lueg in das Tännen- und Hagengebirge zerlegt wird, und durch diesen Thalriss hindurch hat sich der Strom seinen Weg erkämpft, ein

Fig. 149.



Durchbruchsthal vollkommenster Form ausschürfend. Nur ein schmaler, heute durch ein Sperrfort noch mehr eingeengter Pfad ist zwischen Fluss und Gebirge frei geblieben; die Eisenbahn hätte darauf keinen Platz mehr gefunden, sondern es musste für sie ein Tunnel durch die gegen die Passenge vorspringende Bergnase des Hagengebirges gebahnt werden.

Unter dem geologischen Gesichtspunkte sind Durchbruchsthäler meist als *junge Bildungen* zu betrachten, die vielfach erst in die spätere Diluvialzeit, als die grosse Vergletscherung (S. 394) bereits wieder zu weichen begonnen hatte, zu verlegen sind [1]). So befürwortet *Lepsius* übereinstimmend postglaziale Entstehung für den Durch-

[1]) Als ein Seitenstück zur Bildung eines Durchbruchsthales steht das dynamische Phänomen da, durch welches die Verbindung des Schwarzen Meeres mit dem griechischen Archipelagus eine Thatsache wurde. Bei *Partsch-Neumann* (Physikalische Geographie von Griechenland, Breslau 1885. S. 267) heisst es: „Die Eröffnung der Meeresstrassen, welche den alten Brackwassersee des Pontus zu einem Teile des Mittelmeeres machten, scheint eines der spätesten Ereignisse der an grossartigen Veränderungen hier besonders reichen Diluvialperiode gewesen zu sein.“

bruch der Aar bei Olten, der Limmat bei Baden, des Rheins bei Sargans. Auch das Donauthal, welches zwischen Bazias und Alt-Orsova von den slavischen Anwohnern mit gutem Grunde *Klissura* [1]) genannt wird, hat sich erst im Quartärzeitalter so ausgebildet, wie es jetzt erscheint. Gerade dieser Durchbruch der Donau gab ein schweres Rätsel auf, denn, um *Pencks* Ausdruck zu gebrauchen, es hätte dieser Strom überall anscheinend bequemere Wege finden können, als der war, welchen er wirklich einschlug, und in früherer Zeit war ja auch der Lauf ein anderer. Es erhob sich so insbesondere die Frage: *Wie kann ein Fluss aus tieferem Lande in höheres treten und in diesem sich bis zur Tiefe des gegenwärtigen Laufes eingraben?*

Andeutungen, wie dieses scheinbare Paradoxon sich in Wirklichkeit aufzulösen vermöge, waren bereits von *Lyell, G. Bischof, v. Gümbel, Rütimeyer* u. a. gelegentlich gemacht worden, aber zu einer wirklichen *Theorie der Querthalbildung* wurden diese vereinzelten Erkenntnisse erst, und zwar in gegenseitiger Unabhängigkeit, erhoben durch *Powell* in Amerika, *Medlicott* in Indien, *Tietze* in Deutschland-Oesterreich. Ersterer war bei seinen Schlüssen durch die im Missourigebiete gemachte Wahrnehmung *Haydens* unterstützt worden, dass die *Cañons,* welche auch dort nicht fehlen, in dem Masse sich vertieften, in welchem das Land aufstieg. Von *Powell* stammt das treffende Gleichnis der Sägemühle. Bei dieser sehen wir, dass ein in geradliniger Bahn auf- und niederbewegtes Sägeblatt den gegen dasselbe geführten Baum durchschneidet; ebenso bohrt sich ein Wasserlauf, der von einem tektonisch ungestörten Bezirke aus in tektonisch gestörtes, in Faltung oder Schollenverschiebung befindliches Land gelangt, in die vor seiner Laufrichtung sich erhebenden Terrainpartien ein, indem seine Tendenz, zu tiefern Horizonten hindurchzudringen, mit der Erhebungstendenz gleichen Schritt hält. Wenn diese Auffassung das richtige trifft, so muss man offenbar sagen: *Die Flüsse sind im allgemeinen älter, als die Perioden, in denen die Fältelung der Erdrinde besonders lebhaft vor sich ging.*

Die Erosion hatte in den Zeiten, während deren sie neue Falten oder Hubschollen zerschnitt, mit weit grösserer Energie zu arbeiten, als in früheren und späteren Zeiten. Wesentlich mit Rücksicht auf diesen Sachverhalt ist auch *Löwl* kein Anhänger der hier vorgetragenen Lehre; Faltungen und Verwerfungen, so hält er entgegen, seien so schnell vor sich gegangen, dass die Korrasion die von diesen Bewegungen der Erdkruste aufgetürmten Hindernisse nicht habe überwältigen können. Aber gerade die Intensität der Korrasionsarbeit, um die sich die Frage in erster Linie dreht, wird durch einen von *Lepsius* urgierten Umstand bekräftigt. Es ist nämlich bekannt, dass Nebenthäler von Querthälern, kurze Thälchen also, welche mehr den Charakter von Längs- als selbst von Transversalthälern an sich tragen, ein weit schwächeres Gefälle besitzen, als das Hauptthal, in welches sie münden. Die Aktion der Erosion

[1]) Klissura bedeutet im Serbokroatischen eben soviel als Durchbruch.

ist nämlich in dem einen und dem anderen Thale nicht die gleiche gewesen: im Seitenthale hatte sie bloss die gewöhnliche Aufarbeitung des Gesteines zu leisten, im Hauptteile dagegen hatte sie in der uns bekannten Art als Säge zu wirken, und diese Verschiedenheit musste sich im Einmündungsgebiete ausprägen: *Nebenthäler von Querthälern gehen in letztere meist als tief eingerissene Schluchten aus.* Der unheimliche Schlund, durch welchen hindurch bei Wasen an der Gotthardstrasse die Maienreuss ihre Vereinigung mit der eigentlichen Reuss bewirkt, wird von *Lepsius* als sehr augenfälliges Beispiel für letztere Behauptung angeführt.

Von einigen mehr sekundären, die Thalbildung betreffenden Fragen können wir nur vorübergehend handeln. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Regenfall der Korrasion vorarbeitet; wenn Flüsse, welche im Inneren eines Gebirges entspringen, eine gewisse Seite des letzteren ausschliesslich annagen, während an sich kein sichtbarer Grund vorliegt, weshalb gerade diese Seite bevorzugt wird. Diese *einseitige Erosion* wird von *Krümmel* darauf zurückgeführt, dass auf den fraglichen Abhang eine reichlichere atmosphärische Befeuchtung entfällt, als auf irgend einen anderen. Nicht verworfen darf wohl auch der Gedanke werden, dass die Entstehung asymmetrischer Thäler, die allerdings nach *Hilber* von einer anderen Grundursache bedingt ist, durch die Art und Intensität der Niederschläge begünstigt wird[1]). Unterirdisch zirkulierende Gewässer können, wie *Tietze* hervorhebt, einen Durchbruch herbeiführen, wenn, was in Karstländern (s. u.) vorkommt, ihre Decke einstürzt[2]). Von *Penck* endlich wird, insbesondere unter Hinweis auf in Afrika beobachtete Thalformen, eine besondere Gattung von Thälern umgrenzt, welche er als *Ueberflussfurchen junger Flüsse* bezeichnet. Als besondere Arten sind in dieser Gattung diejenigen Thäler enthalten, bei denen entweder *Seeabflüsse* oder aber *aufschüttende Flüsse* eine lokale Erniedrigung der Wasserscheide durchgeführt haben. —

Wir sind so von den rein zerstörenden Wirkungen, welche das fliessende Wasser ausübt, zu denjenigen gelangt, welche *konstruktiver Natur* sind und mit ersteren stets Hand in Hand gehen. Denn die Massen aufgearbeiteten Gesteines, welche Erosion und Denu-

[1]) Jene erste Ursache sucht *Hilber* in folgendem. Die Erosion strebt, wie wir schon erfuhren, einer gewissen Niveaufläche als Basis zu, und wenn das strömende Wasser diese erreicht hat, so ist ihm seine erosive Kraft verloren gegangen. Wenn nun mehrere Flüsse angenähert parallel über Bodenflächen von verschiedener Resistenzkraft dahinziehen, so gelingt es dem einen leichter als dem anderen, sein Flussbett zu vertiefen und damit auch die Erosionsbasis selbst tiefer zu legen. Damit ist dann auch ein Anlass zu ungleicher Abböschung der einzelnen Thalwände gegeben.

[2]) Es können so jene querlaufenden, nach oben klaffenden Zerreissungen einer Welle des Bodens entstehen, welche man im Schweizer Jura *Klusen* nennt. Gewöhnlich werden diese und die *Komben* als Typen zweier verschiedenen Arten der Thalbildung einander gegenübergestellt, allein es ist damit wenig erreicht. Eine Kombe ist nämlich nichts anderes als eine gewöhnliche Synkline (S. 101), und indem *Desor* diese Lokalbezeichnungen seiner Heimat verallgemeinerte, hat er unsere Einsicht in den eigentlichen Prozess der Thalbildung durchaus nicht wesentlich gefördert.

dation in ihrer Vereinigung geliefert haben, werden doch nur zum kleineren Teile in den Hauptfluss fortgeschwemmt, in welchen der sein Thal aushöhlende Wasserlauf mündet; die grössere Menge dieses Trümmermateriales verbleibt im Thale selbst und wird vom Wasser zur Erbauung von Hügeln verwendet, welche dann selbst wieder ein Angriffsobjekt für die Korrasion darbieten. Mit *Heim* haben wir eben drei Stadien der thalbildenden Thätigkeit des Wassers zu unterscheiden: *Einschneiden, Verbreitern, Ausfüllen des Thalgrundes.* Alle Thalstufen und Terrassen in einem alpinen Bassin erscheinen als die Ueberreste eines früher zusammenhängenden Thalbodensystemes; die Höhe der Terrassen erweist sich von der Gesteinsart, resp. von ihrer grösseren oder geringeren Widerstandsfähigkeit, sowie auch vom Gebirgsbau abhängig.

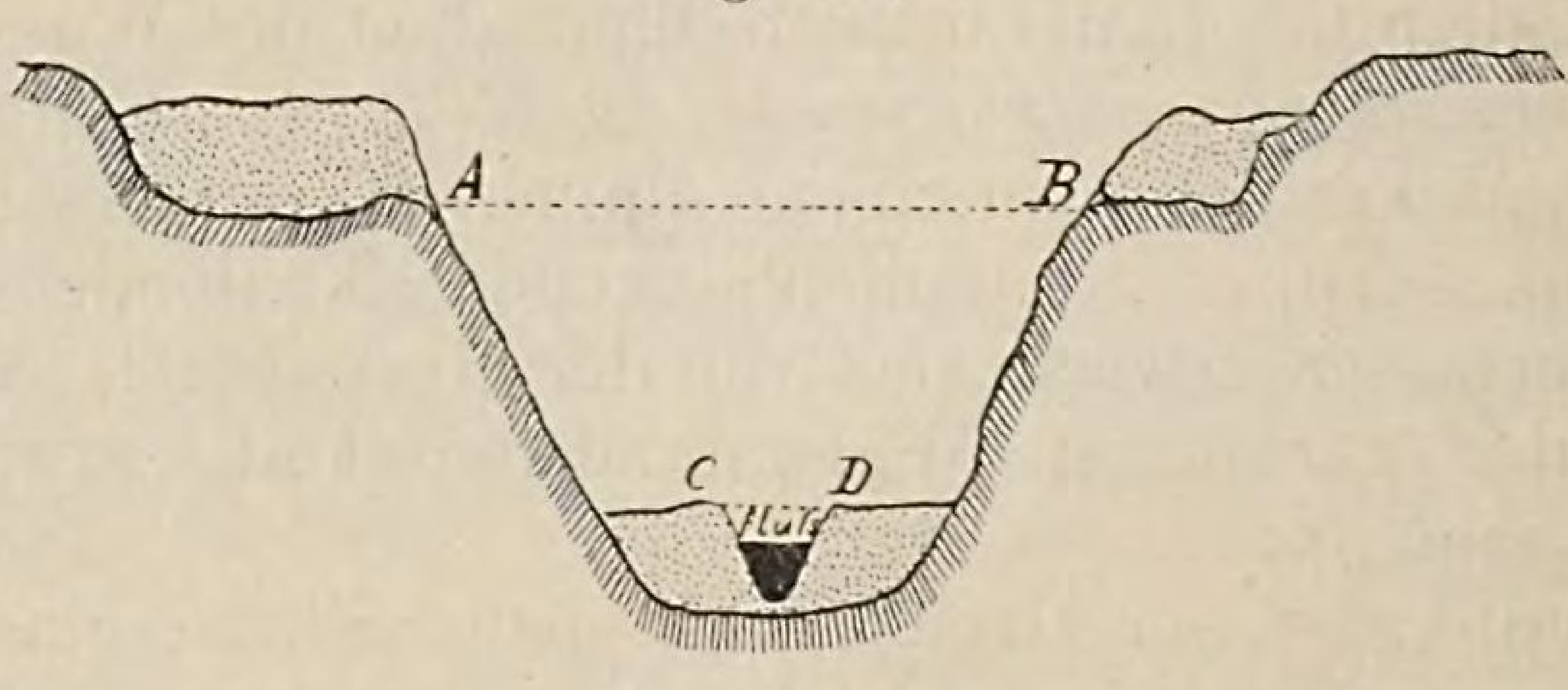
Innerhalb gewisser Grenzen übt jeder Fluss seine erosive und seine aufbauende Thätigkeit gleichzeitig aus. Am stärksten erodiert er im Oberlaufe, ziemlich neutral verhält er sich im Mittellaufe, und erst der Unterlauf sieht ihn in lebhafterer Aktion des Aufspeicherns. *Penck* hat aber darauf aufmerksam gemacht, dass, worauf wir oben schon anspielten, für das ganze Thal oft die zerstörende Kraft des Stromes gelähmt zu sein scheint, während in solchen Zeiten die lebendige Potenz, welche das strömende Wasser besitzt, und welche sich irgendwie manifestieren muss, dem Terrassenbau gewidmet erscheint. *Perioden intensiver Erosionen wechselten im Diluvialzeitalter — und wechseln in unscheinbarerer Entfaltung vielleicht noch jetzt — mit Perioden der Aufschüttung.* Es liegt nahe, dass *Penck* diese von ihm ermittelte Thatsache mit den klimatischen Schwankungen der älteren Quartärzeit in ursächliche Verbindung bringt, wie sie hauptsächlich in dem mehrmaligen Wechsel von Vergletscherungs- und Interglazialperioden ihren Ausdruck gefunden haben (S. 395).

Rein morphographisch haben wir somit in jedem Thale zwei Arten von Terrassenbildung auseinanderzuhalten, welche sich auch äusserlich sofort als gegensätzliche Bildungen dem Auge einprägen. *Querstufen* und *Längsstufen*[1]) ist die einfache, der Anschauung entnommene Bezeichnung, welche *v. Richthofen* für diesen Gegensatz gebraucht; bei *Löwl*, der auch die Entstehung im Namen kennzeichnen wollte, werden *Erosionsstufen* und *Lateralterrassen* unterschieden. Für letztere ist auch die Benennung *Akkumulationsterrassen* im Gebrauche. In *Fig. 150* wird die Entstehung derselben schematisch erklärt. Nachdem der zur Zeit der Schmelze der eiszeitlichen Gletscher überaus wasserreiche Fluss beim Niveau *AB* angelangt war, stellte er seine Austiefungsarbeit für längere Zeit

[1]) Dass die Querstufen nicht allein das Produkt tektonischer und erosiver Vorgänge, dass sie vielmehr auch, mit *Supan* zu reden, *Abdämmungsstufen* sein können, darf nicht aus dem Auge verloren werden. Ein Bergsturz, eine alte Endmoräne u. dgl. können den Thalfluss in seinem Laufe aufhalten, und wenn dieser Damm stark genug ist, um den Seitendruck des Wassers auszuhalten, so kann der entstandene See nach und nach zum grossen teile ausgefüllt und in ein wirkliches Thalbecken verwandelt werden.

ein und warf bei *A* und *B* die Schotterterrasse auf. Dann aber nahm seine erosive Kraft wieder zu, er schnitt sich tiefer in das Thal ein und begann erst später wieder, nachdem er den grössten Teil seines Wasserreichtums eingebüsst hatte, von neuem die Terrassen bei *C* und *D*

Fig. 150.



zu erbauen. *Vielfach wird der in der Thalsohle strömende Fluss von einer ganzen Reihe terrassenförmig aufsteigender Aufschüttungshügel eingesäumt;* die höher gelegenen Ablagerungen sind es zumeist auch, denen das höhere Alter zukommt [1]).

Es gibt wohl kaum ein tiefer eingeschnittenes Thal, welchem die seinen Thalweg seitlich begleitenden Diluvialterrassen gänzlich fehlten. Häufig sieht man in geographischen Werken die hübsche Zeichnung reproduziert, welche *Dana* von den durch glatte horizontale Oberfläche ausgezeichneten Terrassen des Connecticut River (südlich von Hannover in New-Hampshire) entworfen hat. Man braucht aber nicht bis Amerika zu reisen, um solche wie mit dem Messer abgeschnittene, scharfrandige Aufschüttungshügel zu Gesichte zu bekommen: das Thal der Wurzener Save zwischen Lees und Veldes bietet solche Terrassenbildungen in reicher Abwechslung. Gar nicht selten steigert sich der angenehme Eindruck, den dieselben immer hervorbringen, bis zu hoher landschaftlicher Schönheit; wir erinnern nur an das bekannte *Mittelgebirge* des Unterinnthales, welches zwischen Innsbruck und Hall einen wirklichen Gebirgscharakter entfaltet, über 400 m hoch und 4 km breit wird.

Auch das Thal der Isar gibt in seiner ganzen Flachlanderstreckung, zwischen Tölz und München, gute Gelegenheit, die aus dem tief in das lockere Diluvium der bayerischen Hochebene eingeschnittenen Flusse in verschiedenen Absätzen aufsteigenden Akkumulationsterrassen kennen zu lernen. —

Zum Schlusse noch ein Wort über die oben als Ausnahmen genannten Trockenthäler. Wir sehen von den Verhältnissen der Wüste und des Karstterrains ab; in der ersteren kann ein Fluss spurlos im Sande versickern, im letzteren kann er in unterirdischen Gängen ganz oder zeitweise verschwinden, bis vielleicht ein aus

[1]) Unbedingt notwendig ist dies nicht, wie *v. Richthofen*, kritisch wie immer, betont. Eine Runse erschliesst hie und da den Rest einer ältesten Schuttablagerung, die von einer jüngeren, aber am Thalhange höher hinaufreichenden Ablagerung zugedeckt wird.

Ueberfüllung dieser Gallerien entspringender Stauprozess ihn wieder an die Oberfläche zurücktreten lässt (S. 345). Hier können wir nur die Trockenlegung eigentlicher, in festes anstehendes Gestein eingeschnittener Thäler im Auge haben, und von dieser behaupten wir: *sie ist die Folge klimatischer Veränderungen.* Solche können eine Periode von sehr geringer Amplitude einhalten; es gehören in unseren Alpen hierher die Giessbäche und selbst grössere Bergströme, welche zur Zeit der Schneeschmelze in den höheren Regionen und auch zu der der grossen Herbstregen von einer tosenden

Fig. 151.



Flut erfüllt sind und zu anderen Zeiten nur durch einen dünnen Wasserfaden und vereinzelte Tümpel sich als Flüsse dokumentieren. Aus der Umgebung von Polaris-Bay im hohen Norden schildert uns *Bessels* eine „Cañon-Gegend in kleinem Masstabe", deren Eigenart uns *Fig. 151* versinnlicht. Enge und tiefe Erosionsschlünde durchziehen Flach- und Hügelland, aber nur dann, wenn der Schnee zu schmelzen beginnt, werden die öden Schluchten für kurze Dauer belebt. Andererseits kann die fragliche Periode auch einen eminent säkulären Charakter tragen. Von den zwei sehr merkwürdigen Trockenthälern in nächster Nähe Münchens (*Gleissenthal* und *Teufelsgraben*) hat *Penck* nachgewiesen, dass ihre Austiefung durch die

beim Ausgang der letzten Glazialepoche ungeheuer anwachsenden Wassermassen besorgt ward, und als diese Gewässer sich verlaufen hatten, blieben zwar die Thalfurchen zurück, aber unter den obwaltenden klimatischen Verhältnissen müssen sie trocken bleiben.

Veränderungen der Flussläufe. Die Morphologie hat es als eine ihrer Hauptaufgaben anzusehen, den Veränderungen nachzuspüren, welche die einzelnen Flussläufe im Laufe der Zeiten haben über sich ergehen lassen müssen. Der dabei in betracht kommenden Faktoren gibt es so viele, dass eine einigermassen eindringende Analyse der einzelnen Vorgänge weit über die diesem Buche gezogenen Grenzen hinausführen müsste [1], und es kann hier also nur eine gedrängte Uebersicht der Möglichkeiten gegeben werden. Bodenhebungen und Bodensenkungen können das Wasser von seinem natürlichen Wege ablenken; Muhrbrüche, Bergrutsche und vulkanische Aufschüttungen erreichen den gleichen Zweck; die rückwärtige Erosion arbeitet an der Zerstörung der Wasserscheiden und somit der endlichen Herbeiführung von Bifurkationen in die Hände, wodurch dann das hydrographische Netz eine grundstürzende Umgestaltung erfahren müsste; die Lateralerosion sucht, vielleicht in Verbindung mit der Erdrotation (S. 419), das Thal seitlich zu erweitern; Schwemmprodukte und Sandmassen helfen bei der Verlegung des Flussbettes mit. Manche von diesen Agentien wirkten in *prähistorischer* (diluvialer und postglazialer) Zeit besonders kräftig zusammen; manche haben auch die kurze Spanne Zeit, welche wir *historisch* nennen, zu thätiger Arbeit benützt, aber im allgemeinen werden die seit dem Erwachen der Menschengeschichte nachweisbaren Laufänderungen der Flüsse gerne überschätzt.

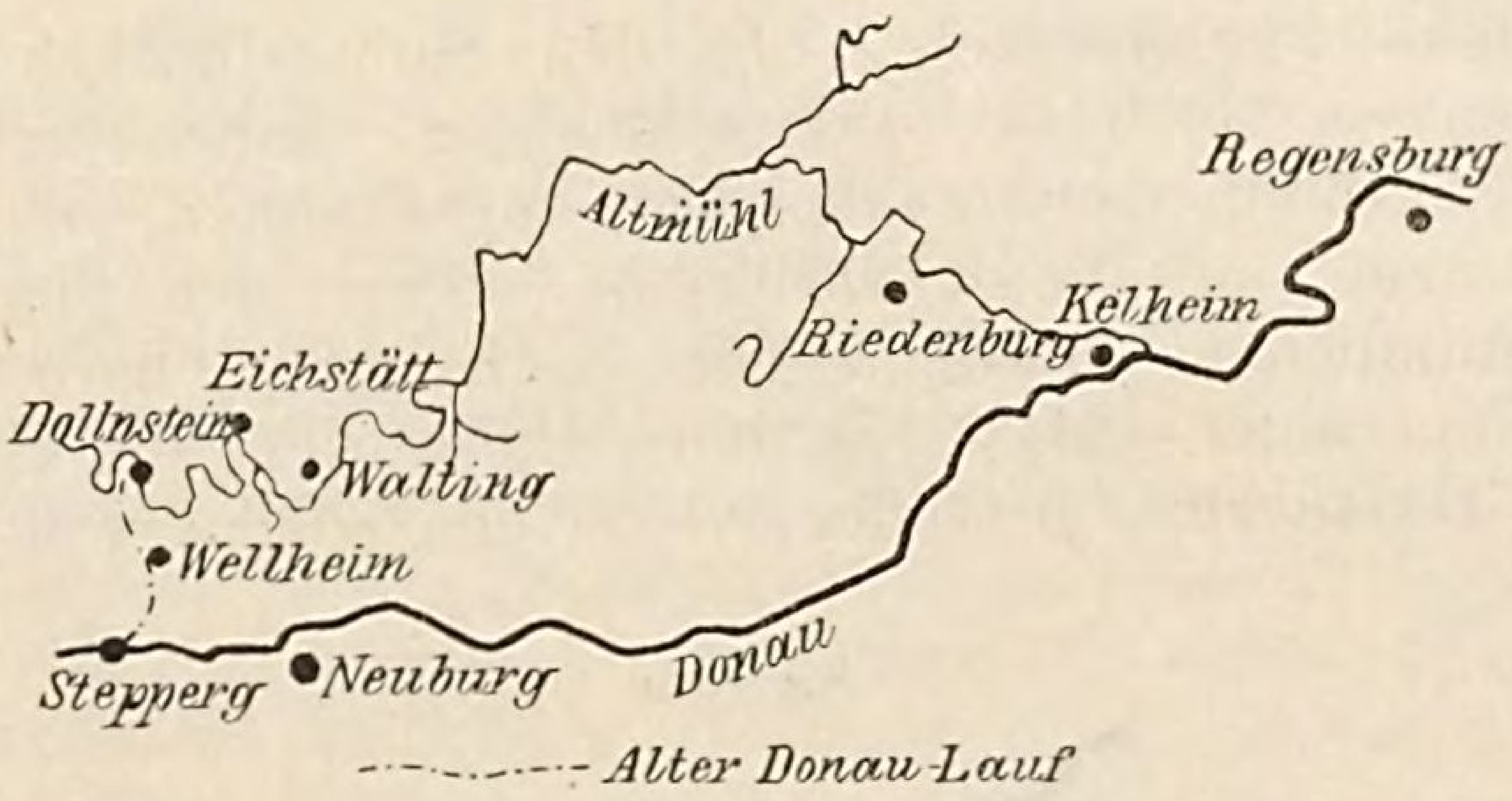
Zunächst seien ein paar Beispiele aus diluvialer Vergangenheit besprochen. Von der oberen Donau hat nachgewiesen werden können, dass zwar ihr Lauf, als ganzes genommen, ziemlich der gleiche geblieben ist, aber eine gewisse Teilstrecke fehlte, und an ihrer Stelle war eine ganz andere eingeschaltet (vgl. *Fig. 152*). Bei der geologischen Durchforschung Bayerns ermittelte nämlich *v. Gümbel*, dass erst sehr spät der Durchbruch der Donau durch den sich ihr quer vorlegenden Jura-Felsriegel bei Neuburg (s. auch S. 174) erfolgte, dass vielmehr vorher die Donau bei Stepperg sich nordwärts wandte und durch das Wellheimer Thal hindurch das jetzige Altmühlthal aufsuchte. Während der altquartären Zeit erfolgte der Einfluss der Altmühl in die Donau, der seit der Oeffnung des Neuburger Durchbruches nach Kelheim verlegt ist, schon bei Dollnstein; die alpinen Geröllproben, welche man bei Walting und Riedenburg gefunden hat, können nur durch die Donau, welche diese Geschiebe

[1]) Es existiert ein in seiner Art vorzügliches, nur leider begreiflicherweise veraltetes Werk, welches für geschichtlich-morphologische Untersuchung eine wahre Fundgrube bildet und wohl einmal einer Neubearbeitung würdig wäre. Wir meinen *K. E. A. v. Hoff*'s dreibändige „Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche" (Gotha 1822—34).

selbst wieder durch Iller und Lech zugeführt erhalten hatte, soweit nach Norden transportiert worden sein.

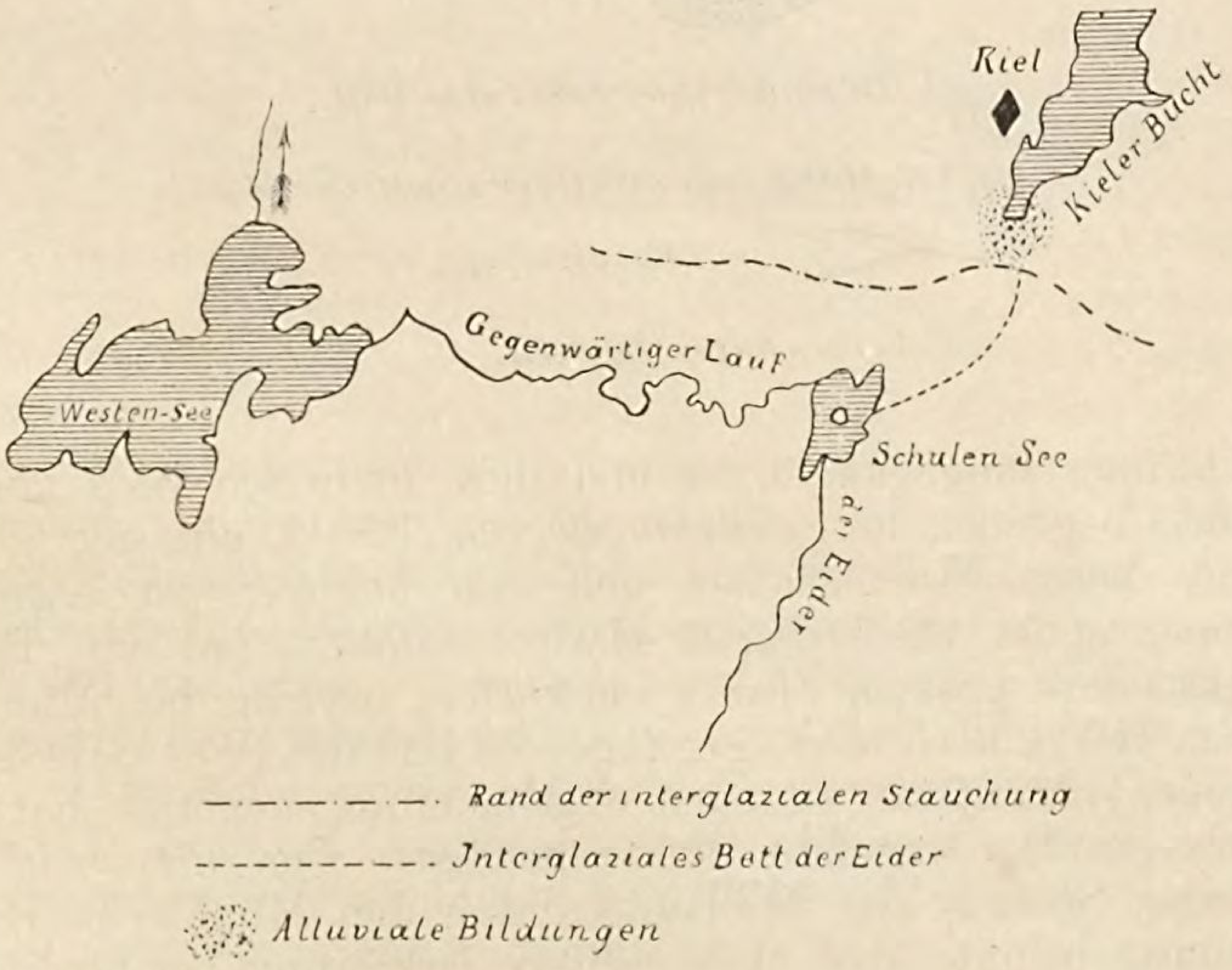
Gleichfalls durch petrographische Untersuchung der Geröllablagerungen konnte *Haas* darthun, dass die Eider in jener eisfreien Zeit, welche sich zwischen die sicher erkannten zwei grossen

Fig. 152.



Vergletscherungsperioden einschob (S. 394), sich in die Kieler Föhrde ergossen haben muss. Sie durchfloss zuerst den Schulen-See, um von ihm aus jene Bucht zu erreichen, an deren Südende ihre Alluvionen (*Fig. 153*) kenntlich genug sind. Eine der Boden-

Fig. 153.

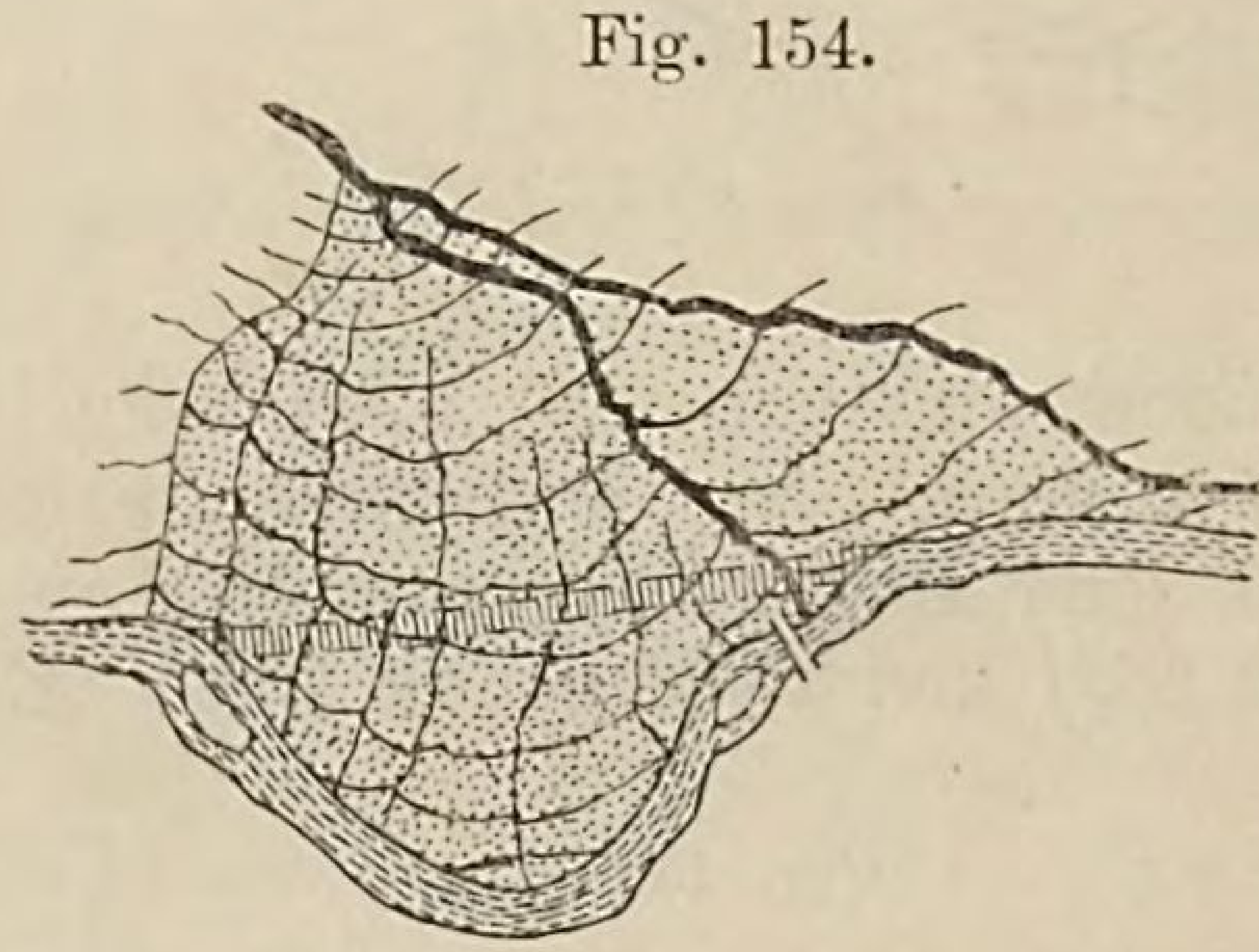


bewegungen, welche in jener Zwischenperiode häufiger vorgekommen zu sein scheinen, schuf ein Hindernis, wie es das Kärtchen angibt; dieses zu überwinden war die Eider ausser stande, sie wurde nach dem Schulen-See zurückgestaut, und verliess denselben von da ab an der Westseite, nicht mehr wie früher an der Ostseite, um als-

dann dem Westen-See und, nach dessen Passierung, der Nordsee zuzuströmen.

Wenn wir uns jetzt der geschichtlichen Zeit zuwenden, so treten in Gebirgsländern die *Ablenkungen durch Aufschüttung* in den Vordergrund. Auch hier möge, da sich diese Vorkommnisse typisch wiederholen, ein Einzelfall für viele genügen. Ganz Osttirol und das angrenzende Kärnthen wird von *Muhrbrüchen* mit erschreckender Regelmässigkeit heimgesucht. In den Sammelbecken der Giessbäche, deren wir schon (S. 357) gedachten, haben sich auch viele Festkörper, Trümmerschutt aller Art, angesammelt, und indem nun das Wasser sich mit diesen vermischt, stürzt sich eine Masse von ganz eigentümlichem Aggregatzustande, halb fest, halb flüssig, thalabwärts. Eine solche Masse ist eine *Muhre,* und ein Stück Landes heisst von *Vermuhrung* betroffen, wenn eine solche riesige Schlamm-

Fig. 154.



Gegenwärtiger Lauf der Möll.

Mutmassl. früherer Lauf der Möll.

Mühldorfer Bach.

Vermuhrtes Terrain.

walze darüber hingegangen ist und alles ihr in den Weg kommende unter sich begraben hat. *Stefanovic von Vilóvo,* ein seit geraumer Zeit mit diesen Muhrbrüchen und den dagegen zu ergreifenden Schutzmassregeln beschäftigter Hydrotechniker, hat ein Bild von einer besonders grossen Muhre entworfen, welche bei Mühldorf in Kärnthen 100 m hoch niedergegangen ist und den (vom Grossglockner kommenden) Möllfluss zu einer Ausbuchtung genötigt hat, deren Krümmungsradius ungefähr 600 m beträgt. *Fig. 154,* welche diese gewaltsame Störung des Möllaufes durch den Mühldorfer Bach zur Anschauung bringt, wird ohne weitere Erklärung verständlich sein. Deutlich erkennt man die kegelförmige Gestalt der Muhre; an bezeichneter Stelle ward auch bemerkt, dass jeder Wildbach in einem Schuttkegel endet, der aber an und für sich noch nicht die gefürchtete Form einer eigentlichen Muhre anzunehmen braucht.

Ein sehr wichtiges Moment ist das bei einzelnen Flüssen beobachtete *seitliche Rücken,* worüber insbesondere der uns schon be-

kannte *Stefanovič von Vilóvo* interessante Beobachtungen angestellt hat. An den Mündungen der Nebenflüsse der Donau, welche in der Nähe des grossen Stromknies bei Belgrad teils von Westen (Save), teils von Nordosten (Theiss und Temes) kommen, sammelt sich Sand und Gerölle, wodurch der Hauptstrom gegen das der Mündungsstelle abgewandte Ufer gedrängt und dieses stärker anzugreifen genötigt wird. Neutralisieren sich die Verschiebungstendenzen hier noch einigermassen, weil sie von beiden Ufern ausgehen, so sorgt andererseits eine zweite Ursache dafür, *dass das Donaubett in südwestlicher Richtung kontinuierlich verschoben wird.* Ein mehrere Monate des Jahres hindurch regelmässig wehender Wind nämlich, *Koschawa* genannt, trifft die Bewegungsrichtung der angenähert meridional laufenden ungarischen Flüsse unter Winkeln $\geqq 45^0$, und dass das Wehen solcher kontinuierlicher Luftströmungen einem gewissen Stromufer mehr zusetzen kann, als es eine Wasserbewegung im Sinne des *Bär*schen Gesetzes vermag, das wurde früher mehrfach schon angedeutet. Es bilden sich unter dem Einflusse der von der Koschawa fortgeführten Sandmassen Stromserpentinen, deren Hauptachsen senkrecht zum Stromstriche stehen, und der Flugsand lagert sich in parallelen Riegeln, den *Semlás,* die kein Wasser zwischen sich dulden, und vor denen der Fluss selbst mehr und mehr in der angegebenen Richtung zurückweichen muss.

Dass immerhin alle solche Stromverlegungen in den von uns gemessenen Zeiträumen sich in bescheidenen Grenzen halten, und dass wir kein Beispiel von grossartigeren, vor den Augen der Menschheit vor sich gegangener Laufänderungen kennen, *bei welchem einzig und allein das Walten der Natur massgebend gewesen wäre, kann kaum entschieden genug betont werden.* Wir haben dabei einen für die Geschichte der neueren Erdkunde sehr wichtigen Fall im Auge. Einer Hypothese *v. Kandler*s zufolge, welche *v. Czörnig* weiter ausbildete, sollte der Lauf des Isonzo in den letzten zweitausend Jahren äusserst einschneidende Metamorphosen erlitten haben. Zur Römerzeit sei dieser Fluss über Caporetto (Karfreit) und Staraselo in das Thal des Natisone geflossen; das untere Thal des Isonzo aber sei damals zwar schon vorhanden gewesen, aber nur die spärlichen Fluten des Idria-Flüsschens hätten sich darin fortgewälzt. Um 586 aber habe ein bei Robic abgegangener Bergsturz den Isonzo aufgestaut; derselbe sei über die schwache Wasserscheide zwischen ihm und der Idria hinweggeflossen, habe diese allmählich beseitigt und sich so einen neuen Lauf geschaffen. Gegen diese Ansicht haben *Gumprecht* und *Brückner* Stellung genommen, und zumal der letztere zeigte, dass seit den Anfängen der Geschichte Isonzo und Natisone bis zu ihrer gegenwärtig wie damals nicht weit von Aquileja zu suchenden Vereinigung ein getrenntes Dasein geführt haben.

In Gegenden, welche seit lange von einer dichten, thatkräftigen Bevölkerung besiedelt waren, hat der Forscher, welcher physische Veränderungen auffinden will, stets mit dem einigermassen peinigenden Gedanken sich abzufinden, ob nicht (s. o.) *das Eingreifen des Menschen* die Thätigkeit der Natur entweder helfend und fördernd

oder aber hemmend beeinflusst habe. Gewisse Gegenden haben in wenigen Jahrzehnten ein so durchaus verschiedenes Gepräge erhalten, dass hiedurch morphologischen Untersuchungen der Zukunft ein ernstes Hindernis bereitet werden kann [1]). Oben sagten wir (S. 358), dass die eigentümlichen Flussverbindungen Westfalens an menschliche Nachhilfe erinnerten; für die holländischen Rheingegenden konstatiert *Blink* eben diesen Umstand als einen erschwerenden [2]). In dem komplizierten Gleichungssysteme, das bei der Lösung jeder morphologischen Aufgabe, wie man wohl sagen kann, aufgelöst werden muss, kommt sozusagen eine unbekannte Grösse vor, für welche die zugehörige Gleichung fehlt: das System ist *unbestimmt*. Nur da, wo die Geschichtsquellen in aller Reichlichkeit fliessen, kann auch an volle Berücksichtigung dieser Unbekannten gedacht werden.

Bergstürze und Uferrutschungen. Zu wiederholten malen ist an uns in den letzten Paragraphen die Notwendigkeit herangetreten, die Einwirkungen zu berücksichtigen, welche durch einen Herabsturz grösserer Massen aus der Höhe auf die Beschaffenheit einer Oertlichkeit ausgeübt worden sind [3]). Es kommt nunmehr darauf an, diese Vorgänge, für welche der Ausdruck *Bergsturz* zusammenfassend gebraucht wird, näher zu analysieren und, da die Erdkunde von diesen gewaltsamen Veränderungen in mehr denn einer Beziehung berührt wird [4]), die verschiedenen Möglichkeiten auszusondern, die hier sich ereignen können.

[1]) Im rheinisch-westfälischen Bergbau- und Industrie-Territorium steigen allenthalben hohe Hügel, aus Schlacken und Abfällen erbaut, empor; man denke sich, wie diese Bergzüge die Physiognomie der Gegend beeinflussen werden, wenn sie in späteren Jahrhunderten eine Humusdecke erhalten und sich mit Pflanzenwuchs bekleidet haben! Nicht anders liegt auch die Sache mit den Rieselfeldern an der Weichbildgrenze mancher Grossstadt. — Einer ebenfalls hierher gehörigen Thatsache thut *Rödel* in seiner Heimatkunde von Frankfurt a. d. O. Erwähnung. Einige kleine Seen oder Teiche hatten noch im XVI. Jahrhundert nachweislich ihren Abfluss sämtlich nach einer bestimmten Richtung, während jetzt deren Entwässerung nach einer ganz anderen Richtung erfolgt. An eine spontane Bodenhebung glauben wir nicht, sind vielmehr der Ueberzeugung, dass bewusster Wille der Anwohner es war, durch den die Hydrographie der Gegend beeinflusst ward. Vielleicht ist auch an Anlage von Feldbefestigungen zu denken, denn der Autor bemerkt selbst, die Aenderung müsse zur Zeit des dreissigjährigen Krieges stattgefunden haben, und dass in diesem Frankfurt zum öfteren genannt wird, ist eine bekannte Sache.

[2]) Immerhin konnte *Blink* (Der Rhein in den Niederlanden, Stuttgart 1889) viele anziehende Beobachtungen über Flusslaufveränderungen machen, bei denen sicherlich nur die Kräfte der anorganischen Natur im Spiele waren. Sehr bemerkenswert erscheint u. a. der Umstand, dass Waal und Rhein, obschon Deichbauten die sonst bei hohem Wasserstande unvermeidliche Flussvermischung (S. 358) zur Unmöglichkeit zu machen scheinen, gleichwohl mit einander in fortdauernder unterirdischer Verbindung stehen.

[3]) *Löwl* hält dafür, dass Bergstürze gewöhnlich dazu beitragen, den Thalterrassen ihre durch die Erosion stets gefährdete regelmässige Böschung wieder zu verschaffen.

[4]) Die Verkehrs- und Kulturgeographie hat in Bergstürzen ein Absperrungsmittel anzuerkennen. Man wundert sich oft, dass das ladinische Idiom im Grödener Thale mit solcher Zähigkeit seine Herrschaft behauptet, zumal da

Entweder sind es nur lose, bereits verwitterte Massen, welche sich in Bewegung setzen, oder es ist anstehendes, festes Felsgestein in erster Linie beteiligt. *Pollak*, der als leitender Ingenieur bei alpinen Bahnen reiche Gelegenheit zum Sammeln von Erfahrungen hatte, weist nach, dass in den meisten Fällen gewisse Flächen im Gesteine den Prozess der Loslösung begünstigen: *Schichtflächen, Absonderungsflächen* und eigentliche *Bruchflächen* können, je nach der Besonderheit der Fälle, unterschieden werden, und fast stets ist es das fliessende Wasser, welches längs einer solchen Fläche den Zusammenhang derart lockert, dass endlich ein oberflächlicher Bestandteil des Bergabhanges sich nicht mehr an der bisher eingenommenen Stelle halten kann. Erosion und Schwere wirken also regelmässig zusammen, ähnlich, wie es bei der Entstehung der Lawinen (S. 372) geschieht. Je nachdem — und auch hier tritt wieder die Analogie dieser beiden Erscheinungen zu tage — die Bewegung der abgelösten Massen eine mehr gleichmässige oder eine abrupte ist [1]), kann man, mit *Heim,* die folgenden vier Klassen aufstellen, wobei aber natürlich die Möglichkeit, dass es zusammengesetzte Bergstürze geben kann, nicht geleugnet werden soll. Wir haben:

A. Schuttbewegungen (Schuttbrüche)	*I. Schuttrutschungen,* *II. Schuttstürze,*
B. Felsbewegungen (Felsbrüche)	*III. Felsschlipfe* [2]), *IV. Felsstürze.*

Wie immer auch der Einzelfall sich verhalten möge, stets kann man, auch bei prähistorischen Bergstürzen, das *Abrissgebiet* oben am Berge als eine entblösste Stelle von oft unerwartet geringer Ausdehnung erkennen. Denn ein ganzer Berg stürzt niemals in sich zusammen, regelmässig ist es, wie man wohl zu sagen ein Recht hat, ein gewöhnlich nur kleines Stück seiner Epidermis, das in frage

nach den gleichsprachigen Thälern im Osten und Süden nur ein unsicherer Verkehr über Pässe möglich ist, während das Thal selbst am Eisack, also im deutschen Sprachgebiete, mündet. Nun wird aber der Thalweg gerade an der Stelle, an welcher sich die scharf abgeschnittene Sprachgrenze befindet, durch einen gewaltigen Bergsturz dermassen verschlossen, dass Jahrhunderte lang nur ein Saumpfad oben an den Hängen hin den Verkehr nach innen vermittelte, während eine Kunststrasse durch jenen Wall von Porphyrblöcken hindurch erst in sehr später Zeit entstand; diese Verhältnisse dürften einen Fingerzeig enthalten für die sprachliche Eigenart der Grödener Bevölkerung und deren Erhaltung.

[1]) Im allgemeinen ist die Bewegung wesentlich eine *rutschende.* Doch hat *Rothpletz* wohl kaum ganz unrecht, wenn er annimmt, dass die Bergtrümmer mitunter auch ihre Unterlage verlassen und durch die Luft, im Bogen, abwärts stürzen, denn Leute, welche der Katastrophe von Elm (s. u.) entronnen sind, sagen direkt aus, sie hätten durch den Trümmersturz hindurch den jenseitigen Abhang des Berges erblicken können.

[2]) Es kann wohl auch langsame, kaum merkliche Schlipfbewegungen geben. Anknüpfend an die auch in Piemont gemachte Beobachtung örtlicher Veränderungen der gegenseitigen Sichtbarkeitsverhältnisse zweier weit von einander entfernter Fixpunkte (S. 126), möchte *Sacco* hiefür ein stetiges Rutschen der eingelagerten pliozänen Mergelschichten verantwortlich machen.

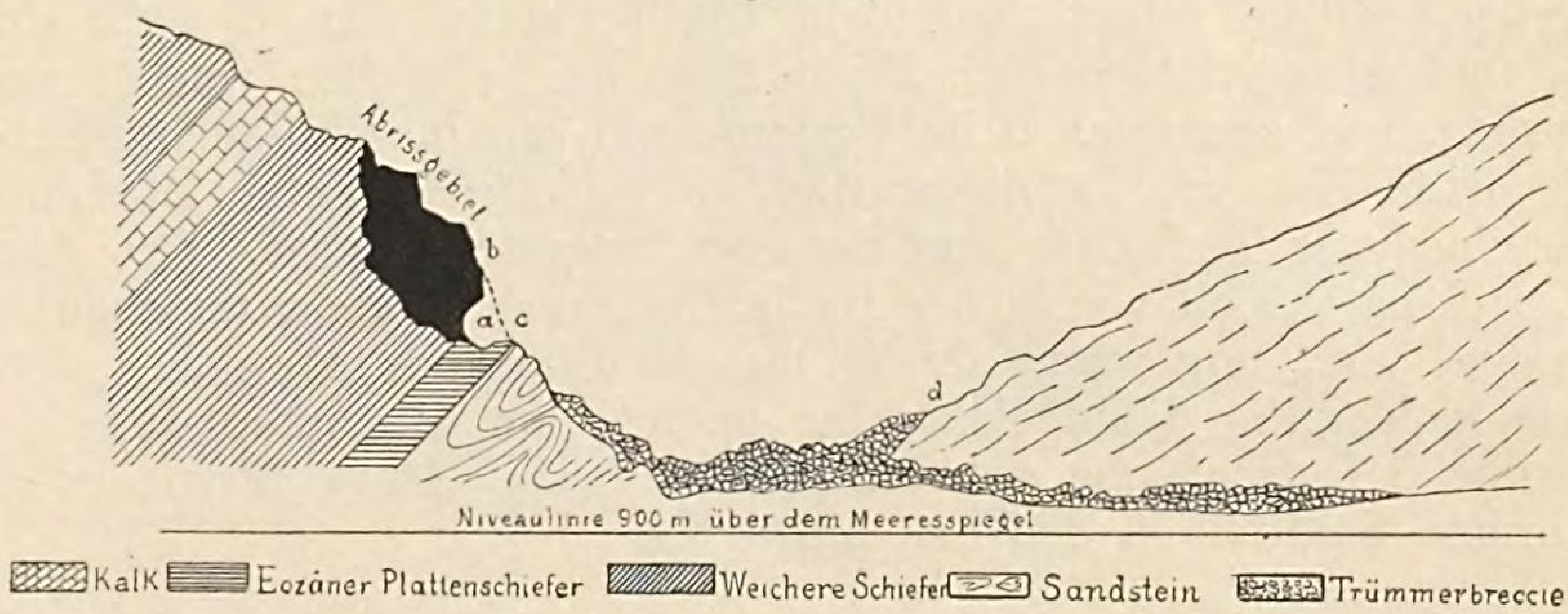
kommt, aber die mechanischen Wirkungen können nichtsdestoweniger furchtbare sein.

Einer der bekanntesten Felsschlipfe, von denen die Geschichte zu berichten weiss, hat sich anlässlich eines Erdbebens (S. 160) an der Südseite des Dobratsch bei Villach ereignet, und obwohl fünfeinhalb Jahrhunderte seitdem entschwunden sind, fällt die Abrissstelle trotzdem sofort jedem den Berg Betrachtenden in das Auge. Der Felsschlipf vom 2. September 1806, der vom Rossberg herabkam, zerstörte von Grund aus das Dorf *Goldau* und füllte einen Teil des Lowerzer Sees (Kanton Schwyz) aus. Im Mittelalter wurde das Städtchen *Plurs* in Graubündten durch einen Felssturz begraben, und ein gleiches Schicksal betraf, wie *Dante*s „Göttliche Komödie" besingt, im XIV. Jahrhundert einige Ortschaften des Etschthales in Südtirol. Das Trümmerfeld dieses letzteren Sturzes, die *„Slavini di San Marco"*, ist früher allgemein mit einer Moräne verwechselt worden, bis *Penck*s Nachforschung an Ort und Stelle den Sachverhalt endlich aufklärte. Minder klar über die eigentliche Natur des Vorganges ist man sich über den geologisch wichtigen Bergsturz von *Flims* (Graubündten); *Heim* möchte ihn lieber in die Kategorie der Felsschlipfe versetzen, und *Hartung*, der dieses stark zementierte Konglomerat von Felsstücken (S. 78) nach *Heim* untersuchte, charakterisiert dasselbe mit folgenden Worten: „Die Flimser Breccie ist das Ablagerungsmaterial eines alten *Bergsturzgebietes*, dessen eigenartige Oberflächengestaltung durch ein Zusammenwirken verschiedener Ursachen bedingt wurde." Welche Steinmassen bei solchen Ereignissen aufgespeichert werden, das mag aus den Schätzungen von *F. Becker* und *Heim* erhellen: Der Bergsturz der Diablerets soll ein Volumen von 50 Millionen Kubikmeter, derjenige von Flims das tausendfache davon haben.

Wohl am meisten Aufsehen hat in neuerer Zeit der furchtbare, mit bedeutendem Verluste an Menschenleben verbundene Felssturz von *Elm* (Kanton Glarus) gemacht. Da die bei demselben wahrgenommenen Erscheinungen mehr als blos individuelle Bedeutung haben, so sei, mit hilfe von *Fig. 155,* diese Katastrophe etwas näher beleuchtet. Man sieht, dass der Berg, von dem eine Partie abstürzte, aus Schichten besteht, deren Fallwinkel etwa 45° beträgt. Die weichen Schiefer in der Mitte des Hanges wurden von einer Zwischenschicht von härterem, tertiärem Schiefer getragen, aber der Schichtkopf dieser Lage war stark in Anspruch genommen, zum teile wohl blos durch gewöhnliche Erosion, zum teile aber auch durch die Steinbrucharbeit der Bewohner, welche mit ihren Schiefertafeln einen schwunghaften Handel trieben. So wurde durch Wegnahme des prismatischen Stückes *a b c* die Pilotierung des oberen Schieferkomplexes nachgerade eine unsichere, und es bedurfte vielleicht nur eines kleinen Anstosses, um die Masse zum Sturze zu bringen. Mit welcher Gewalt derselbe erfolgte, das veranschaulicht die grosse Ausdehnung des Trümmerfeldes, dessen letzte Ausläufer bis zum Punkte *d* an der gegenüberliegenden Bergwand hinaufgetrieben wurden.

Ein Miniaturbild der Bergschlipfe [1]) stellen die *Erdfälle* dar. Einem unterirdischen Zusammenbruche rutscht das an der Oberfläche befindliche Erdreich nach, so dass meist ein Hohlraum von angenähert kreisförmiger Oeffnung entsteht. In Sachsen kennt man (*v. Fritsch*) eine gewisse Gebirgsart unter dem Namen *Zechsteinasche*;

Fig. 155.



Gipslager der oberen Perm-Etage (S. 89) wurden ausgelaugt und sanken ein, der im liegenden befindliche Dolomit stürzte nach, wurde aber dabei zertrümmert und gemahlen. In diesem Zustande bildet er nun in Gemeinschaft mit den Ueberresten der früheren, ihrer Kalziumsulfate beraubten Gips-Basis eine Gesteinsmasse von anscheinend ungewöhnlicher petrographischer Beschaffenheit.

Von den Erdfällen führt ein Schritt zu den in jüngster Zeit viel besprochenen *Uferrutschungen an Binnenseen*. Mehrere Vorkommnisse, die sich am Traun-See, am Hallstatter-See, am Züricher-See, am Genfer-See und zuletzt, mit besonders betrübenden begleitenden Umständen, am Zuger-See ereignet haben, legten Geologen und Ingenieuren die Pflicht nahe, die Ursachen solcher verhängnisvollen Veränderungen des Uferrandes näher zu studieren. Eine wahre Vielzahl von Hypothesen wurde aufgestellt [2]), von denen jedoch keine sich auf die Dauer zu behaupten vermögend war. Nach *Pollak*s objektiven Untersuchungen klärt sich alles so einfach, wie nur immer möglich, auf: *Schlammsande und lettige Sedimente, aus denen das unmittelbar am See gelegene Gelände vielfach besteht*,

[1]) Von einem Bergschlipfe bei Böttsein (Kanton Aargau), der im März 1876 sich ereignete und (S. 462) eine namhafte Flussablenkung zur Folge hatte, berichtet *Baltzer* den nicht uninteressanten Nebenumstand, dass man die Gelegenheit hatte, die Rutschfläche nachher in Augenschein zu nehmen. Dieselbe hatte sich an der Oberfläche des jurassischen Opalinusthones gebildet und erschien wie glatt poliert.

[2]) Eine sehr beliebte Meinung in solchen Fällen ist die, es habe sich unterirdisch, in nicht grosser Entfernung vom Erdboden, durch Auswaschung leicht löslicher Massen ein Hohlraum gebildet, der endlich durch die Wucht der darauf lastenden Bauten eingedrückt werde. Gewissermassen also ein Einsturzerdbeben (S. 174) im Kleinen. Da man eine Ufersenkung am Platten-See auch auf eine solche Ursache zurückführen wollte, so nahm *Pollak* die Gelegenheit wahr, die Unwahrscheinlichkeit dieser Erklärung zu erörtern.

wird durch die darauf aufgeführten Baulichkeiten zu stark belastet und gibt endlich nach. Reibungswiderstände sind kaum vorhanden, weil Feuchtigkeit und Nässe der Reibung entgegenwirken, und die unter Wasser befindlichen Partien geraten, sobald sich nur ein erster leiser Bewegungsimpuls geltend macht, unverzüglich in jenes langsame Fliessen, welches Schlammströmen eigentümlich ist. Zu einem in der Hauptsache übereinstimmenden Ergebnisse gelangte die Expertise, welche sofort nach dem Unglücksfalle vom 5. Juli 1887 — eine ganze Strasse der Stadt Zug war vom See verschlungen worden, und zwar war es im Verlaufe von viereinhalb Jahrhunderten die dritte Katastrophe dieser Art — von *Heim*, unter Zuziehung verschiedener Techniker und Beamter, angestellt wurde. Das ganze Viertel hatte sich von je her im labilen Gleichgewichtszustande befunden, und, ungewarnt durch manch drohendes Anzeichen, hatte man gleichgiltig dahingelebt, bis endlich am genannten Tage eine wirkliche Rutschfläche sich ausgebildet hatte, längs deren der gefährdete Stadtteil in den See hinabglitt.

Entstehung und Klassifikation der Seen. Wir haben im Verlaufe unserer bisherigen Darstellung eine Reihe von Ursachen kennen gelernt, welche gestaltbildend und gestaltverändernd wirken, und treten mit den so gewonnenen Anschauungen nunmehr an die Frage nach der *Entstehung der Seebecken* heran. Die Füllung derselben beschäftigt uns hier nicht, da die Physik der Seen bereits im Eingange des XIV. Abschnittes zum Worte gekommen ist, vielmehr fragen wir lediglich, wo die Hohlräume herkamen, welche nachmals von Wasser ausgefüllt worden sind. Zunächst ist jedoch noch eine Vorfrage zu erledigen.

Peschel hatte die Behauptung aufgestellt, dass der weitaus grössere Teil der namhaften Binnenseen *Reliktenseen* oder *Meeresexklaven* seien. Das tertiäre Meer habe weite Räume der gegenwärtig trockenen Erdoberfläche bedeckt gehabt, und als dasselbe sich zurückzog, sei Salzwasser in Mulden, auf deren Entstehung durch diese Hypothese allerdings gar kein Licht geworfen wurde, stehen geblieben, um allmählich einem langsamen Aussüssungsprozesse zu verfallen. Die oberitalienischen Seen, die grossen kanadischen Seen, den Ladoga- und Onega-See rechnete *Peschel* zu diesen Meeresüberbleibseln [1]; seine Beweisführung war aber eine wesentlich *biologische* und konnte schon aus diesem Grunde keine volle Befriedigung erwecken. Man weiss jetzt, wo man die fast unbegrenzte Transportabilität zumal der niedrig organisierten Tiere näher erforscht hat, dass die Thatsache, in einem Binnensee seien Meertiere, Angehörige einer sogenannten *Reliktenfauna*, aufgefunden worden, für sich allein noch gar nichts besagt; selbst die im Baikal-See unzweifelhaft lebenden Seehunde leisten noch ganz und gar keine Ge-

[1]) Auch andere Geographen schlossen sich *Peschel* an. So nahm *Ochsenius* den Titicaca-See für den Stillen Ozean, *Hull* das Kaspische Meer für das Nördliche Eismeer in anspruch.

währ dafür, dass jener noch in jüngerer geologischer Vorzeit ein Busen des Polarmeeres gewesen sei. Die endgiltige Entscheidung vermag vielmehr nur die Geologie zu erbringen, *indem sie die zwischen dem See und dem augenblicklichen Meeresufer befindlichen Ablagerungen untersucht.* Aus einer solchen mit grosser Umsicht vorgenommenen Untersuchung zog *Credner* den Schluss, dass die Mehrzahl der *Peschel*schen Reliktenseen aus dieser Kategorie zu streichen sei, dass auch die *Schotts* am Nordrande der Sahara seit Beginn der Quartärperiode nicht mehr mit dem Mittelländischen Meere in nasser Verbindung standen [1]). Allerdings aber gibt es ächte Exklaven, und zwar können dieselben, wenn wir *Credner*s Darlegungen folgen, auf dreifache Weise ihres Zusammenhanges mit dem freien Meere verlustig gegangen sein. Durch Nehrungen, Strandwälle u. s. w. kann, wie wir demnächst noch zu erörtern haben werden, ein Meeresteil abgetrennt worden sein; vegetabilische Bildungen (die Torfmoore der Ostsee), Korallenbauten (s. unten), Gletschereis [2]), Vulkanaufschüttungen [3]) vermögen unter gewissen Umständen den gleichen Effekt zu erzielen. Man wird alle diese Bildungen unter dem Namen *Abschnürungsseen* zusammenzufassen ein Recht haben. Auch *Erhebungsseen* kann es aber geben, und zwar dann, wenn durch negative Verschiebung der Uferlinie mit Wasser gefüllte Becken über das bisherige Niveau emportauchen; hierher gehört die jeweilige Seenreihe in den felsigen Randgebieten Schwedens, Norwegens und Hochschottlands. Zum dritten endlich bringt der Rückgang der Wasserlinie auch *Schrumpfungsseen* zuwege. Kaspischer- und Ural-See waren, wie *Peschel* in diesem Falle richtig vermutet hatte, ehemals Meeresbuchten, aber freilich war es nicht das Nördliche Eismeer, das so weit ins Binnenland herein reichte, sondern es war, wie die österreichischen Geologen an Ort und Stelle feststellen konnten, damals noch das nordkaukasische Vorland unter Wasser; das Schwarze Meer erstreckte sich bis tief in das heutige abflusslose Territorium (S. 436) hinein, und erst durch eine spätere Landhebung ist die *Aralokaspische Niederung* in ihrer jetzigen Grösse und Gestalt entstanden. Als Ueberrest eines tertiären zentralasiatischen Mittelmeeres, wie es nach *v. Richthofen* existiert haben muss, darf auch der *Han-Hai* gelten.

Nunmehr gehen wir daran, eine *genetische Seentafel* aufzustellen, Kategorien zu bilden, in welche wir, vorausgesetzt, dass unser erfahrungsmässiges Wissen bereits weit genug fortgeschritten ist, ein gegebenes Seebecken einreihen können. Auch dieses Problem hat

[1]) Bei dieser Sachlage ist der in Frankreich populäre, von einem unlängst verstorbenen Offizier, *Roudaire*, mit wahrem Feuereifer verfochtene Plan, mittelst Durchstechung der litoralen Erhebungen ein Sahara-Meer zu schaffen, vonvornherein als aussichtslos zu bezeichnen.

[2]) Der von den Eingeborenen Komgerdlugasik genannte See in Grönland ist nach *Rink* ein ehemaliger, durch vorgeschobene Eismassen dem Meere entfremdeter Fjord.

[3]) *Semper* gibt von der Laguna de Taal auf der Philippinen-Insel Luzon an, dass vulkanische Ejektionsmassen sie zum Binnensee gemacht haben.

Credner in Fluss gebracht, und nachher sind sehr fein detaillierte Systeme durch *Davis* und *v. Richthofen* ausgedacht worden, welche in der That allen nur ersinnlichen Vorgängen in der Natur gerecht werden. An diesem Orte kann nicht in gleichem Masse auf Einzelheiten eingegangen, vielmehr sollen blos fünf grosse Klassen normiert werden, welche eine ungezwungene Einteilung ermöglichen. Seebecken können bereits durch die grossen Bewegungen der Erdrinde präformiert sein *(tektonische Seen)*; erosive Agentien können einen Hohlraum ausgeschürft haben *(Erosions-Seen)*; durch eine von unten wirkende Kraft wird hie und da ein beschränkter Teil der Erdoberfläche zerstört, und es bleibt eine trichterförmige Einsenkung *(Vulkan-Seen)*; ebenso können sich solche Senkungen durch Zusammensturz der zu schwer belasteten, zu wenig gestützten Deckschichten bilden *(Einsturz-Seen)*; endlich kann fliessendes Wasser aufgestaut und zum Stagnieren gebracht werden *(Abdämmungs-Seen)*. Im letzteren Falle war also keine ursprüngliche Depression vorhanden, sondern die das Seebecken umschliessenden Wände entstehen gleichzeitig mit dem See selbst.

I. *Tektonische Seen.* Faltungen und Verwerfungen bringen es mit sich, dass abgeschlossene Hohlräume in der Erdoberfläche zustandekommen. Die *Klusenseen* des Schweizer Jura (S. 456) gehören in die eine, das *Tote Meer* (S. 114) gehört in die andere Unterabteilung dieser Klasse. Wenn ferner *Kjerulf* recht hat mit seiner Behauptung (S. 448), dass in der Anordnung der skandinavischen Fjords nur das alte Bruchliniensystem zur Geltung komme, so werden auch die fjordähnlichen Binnenseen, wie z. B. der Mjösen-See, hier unterzubringen sein. Freilich aber hat die Erosion jedenfalls aufs kräftigste mitgewirkt, um diesen Becken ihre gegenwärtige Gestalt zu verleihen.

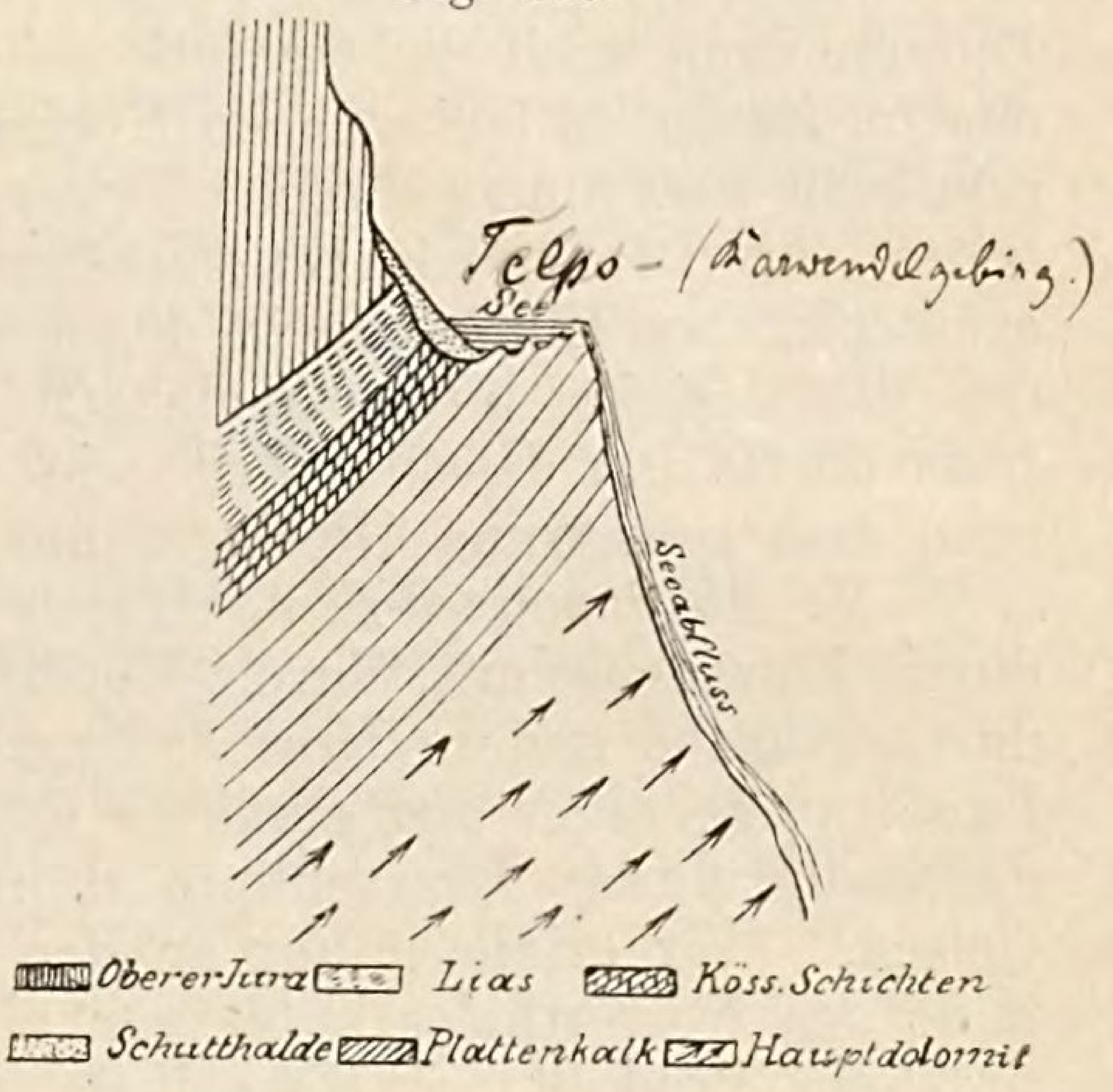
II. *Erosions-Seen.* Die Korrasion (S. 417) gab wahrscheinlich manchem die Sohle eines Längsthales einnehmenden und mit diesem seiner Hauptachsenrichtung nach übereinstimmenden See das Leben [1], aber auch an die Evorsion (S. 417) muss gedacht werden, wie denn *Geinitz* es wahrscheinlich macht, dass die Seen der baltischen Platte grossenteils zu Beginn der postglazialen Epoche ausgewirbelt worden seien [2] (vgl. auch S. 451). Endlich wird von den Glazialgeologen die Möglichkeit betont, dass die im Gebiete ausgedehnter diluvialer

[1]) Einem sehr merkwürdigen Falle der Erosion durch fliessendes Wasser entspricht der kleine *Telps-See* im Karwendelgebirge, dessen Bildung *Schäfer* in folgender sehr einleuchtender Weise erklärt. Das steile Berggehänge (*Fig. 156*) wird durch sehr schief einfallende Schichten gebildet, deren Material den zerstörenden Kräften in ganz ungleicher Weise widersteht. Die Lias- und die oberen Triasschichten sind schon stark aufgearbeitet, der Plattenkalk aber hat den steten Angriffen des Wassers und der Atmosphärilien besser stand gehalten, und so hat sich im Kalk ein Vorsprung gebildet, hinter welchem sich das abträufelnde Wasser zu einem See ansammelte. Bei einigermassen ergiebigerem Zuflusse strömt dessen Wasser über die vorspringende Kante.

[2]) Die sogenannten *Söllen*, kleine das Gebiet der Hansestadt Lübeck geradezu übersäende Tümpel, werden von den dortigen Geologen postglazialer Auswirbelung zugeschrieben.

Gletscher gelegenen Seebecken vom bewegten Eise ausgepflügt worden seien. Nach dem, was wir von der glazialen Erosion (S. 421) kennen gelernt haben, darf diese Hypothese, durch welche man vorzüglich den Ursprung der *Seen der bayerischen Hochebene* aufzuhellen gedachte, nicht als begründet angesehen werden, vielmehr dürfte auch in diesen Fällen mehr an die Korrasion und Erosion des aus seinem Banne soeben gelösten und wieder in den tropfbaren Aggregatzustand zurückgekehrten Wassers zu denken sein. Das aber ist zugegeben, dass die eiszeitlichen Gletscher, wenn ihr Weg sie an einen schon in der Tertiärperiode entstandenen Hohlraum führte, eine *konservierende Rolle* spielen konnten; sie schützten jenen vor der Ausfüllung durch Schutt und hinterliessen nach ihrer Abschmelzung die Bodensenke wesentlich in dem Zustande, in welchem sich dieselbe vor der Ausfüllung befunden hatte.

Fig. 156.



III. *Vulkan-Seen.* Derartige Explosionstrichter findet man in allen Vulkangebieten; man bezeichnet sie mit einem der rheinischen Volkssprache entlehnten Ausdrucke als *Maare.* Besonders reich an solchen Seen ist das Eifel-Gebirge (S. 150), wo man den *Laacher See* [1]), das *Pulver-Maar* und das *Meerfelder Maar* als typische Bilder dieser Art von Seen bezeichnen kann. Auch die Kraterseen des Albaner-Gebirges, der Insel Java u. s. w. gehören hierher. Selbst in sonst ganz sedimentären Gebirgen fehlen sie nicht; so hat *Endriss* das sehr interessante *Randegger Maar* beschrieben, das mit einem allseitig vom Malm des Schwäbischen Jura umschlossenen Ausbruche von Melilith-Basalt in Verbindung zu bringen ist. Vielleicht können vulkanische Ausbrüche auch ein Nachsacken des Bodens bewirken, so dass in grosser Entfernung von der Eruptionsstelle eine später durch Wasser ausgefüllte Einsenkung zustande kommt [2]). Charakteristisch ist für alle Explosionsbecken die nahe kreisförmige Umrandung.

IV. *Einsturz-Seen.* Von den Bodensenkungen und Erdfällen

[1]) In der Nähe dieses von nicht weniger denn fünf Kratern (Plaidter Hummerich, Krufter Ofen u. s. w.) umrahmten Sees sind allerorts Ueberreste altvulkanischer Thätigkeit, Ansammlungen von Bomben (S. 147) z. B., in reicher Menge enthalten.

[2]) Die Japaner beharren z. B. dabei, dass gleichzeitig mit der Hebung des Fuji-san bei Kioto der Biwa-See entstanden sei, angeblich im Jahre 376 nach Begründung des Kaiserreiches.

hatten wir oben bereits zu sprechen. Verstopft sich die Mündung einer so entstandenen Oeffnung des Bodens, so kann atmosphärisches und fliessendes Wasser sich darin ansammeln und einen See bilden. In dieser Weise haben wir uns den Ursprung der meisten *Karstseen* zu denken; auch die beiden *Mansfelder Seen* würden nach *Ule*s Untersuchung sich nicht gefüllt haben, wenn nicht nach Auslaugung der im Zechstein befindlichen Hohlräume der darüber liegende Buntsandstein zusammengebrochen wäre. In den Alpen kann beispielsweise der *Eib-See* als Einsturz-See betrachtet werden. *Penck* hat ermittelt, dass Einbrüche in der postglazialen Zeit in der Umgebung des Wettersteingebirges mehrfach vorgekommen sind; der Fern-Pass dürfte um dieselbe Zeit wie der Eib-See dadurch entstanden sein, dass subterrane Gipslager ausgewaschen wurden.

V. *Abdämmungs-Seen.* Durch Bergsturz [1]), durch Vermuhrung, durch Moränenschutt, durch Vordringen eines Gletschers und noch durch manche andere Ursache kann strömendes Wasser in seinem Laufe aufgehalten und zum See aufgestaut werden. Zumal die Abdämmung durch Bergschlipfe u. dgl. (S. 467) ist häufig nachzuweisen. Wir erinnern nur an den *Antholzer See* (in einem Seitenthale des Pusterthales) und vor allem an den *Alleghe-See* in Südtirol, ein Produkt der Neuzeit [2]). Alte, in der Diluvialperiode entstandene Abdämmungsseen dürften nach *Penck* der *Achen-See* und der *Alp-See* (bei Immenstadt) sein. Der Gletscherstauseen und der bei ihrem Durchbruche nie ausbleibenden Verheerungen ist weiter oben (S. 388) schon gedacht worden. Ueberhaupt eignet dieser Art von Seen unter allen am wenigsten der Charakter des Dauerhaften, denn da ihnen ein eigentliches Becken mangelt, so ist ein Durchbruch des in seiner Erosionskraft niemals erlahmenden Wassers durch eine schwächere Stelle des Randes nicht ausgeschlossen.

Charakteristische geophysikalische Landschaftsbilder. Ehe wir uns den Wechselbeziehungen zwischen Meer und Festland zuwenden, wollen wir noch in Kürze gewisse in ihrer Individualität besonders scharf ausgeprägte Terrainformen kennen lernen, welche ausgedehnten Teilen der Erdoberfläche einen bestimmten, auch dem Laien sofort in die Augen springenden Charakter verleihen. Wir nennen eine solche Gegend eine durch ihre physikalisch-geographische Eigenart ausgezeichnete *Landschaft* [3]) und unterscheiden an dieser Stelle vier Landschaftsbilder, je nachdem

[1]) Man darf jedoch solche Seen nicht schlechtweg als Bergsturzseen ansprechen, weil sonst die Gefahr einer Verwechslung nahe gelegt wird. In den Schuttmassen solcher Abrutschungen entstehen nämlich gerne Höhlungen durch örtliche Erosion, und diese füllen sich später mit Wasser. Derartige Seen würden a priori das gleiche Anrecht auf obige Benennung haben.

[2]) Dieser an den Abhängen der Forca und Civetta gelegene, ziemlich grosse See ist erst im Jahre 1772 durch einen vom erstgenannten Berge ausgesandten Felssturz entstanden, welcher drei Dörfer vernichtete und einen zum Cordevole fliessenden Bach in seinem Laufe hemmte.

[3]) Wir schliessen uns in der Namenwahl an *Wimmer* an; vgl. dessen vielfach interessantes Buch „Die historische Landschaft“ (Innsbruck 1882).

die Verkarstung, die äolische Schichtbildung, die Gletscherresiduen oder die nahezu absolute Wasserarmut tonangebend sind.

I. *Die Karstlandschaft.* Die erste Bedingung zur Entstehung einer solchen ist die, dass das anstehende Gestein ganz oder doch fast ganz aus Kalk besteht. In ihm kann die Denudation mit besonderer Leichtigkeit arbeiten; seine Porosität und Zerklüftung bewirkt rasches Einsickern des atmosphärischen Wassers bis zu tief gelegenen Horizonten. *Oede und Einförmigkeit, zerrissene Kalksteinplateaus, Mangel an Wasser und Vegetation* [1]*, sowie zahlreiche Bodensenkungen* kennzeichnen die Karstlandschaft an der Oberfläche; *verzweigte Höhlen und unterirdische Gänge, sowie teilweise unterirdisch fliessende Wasserläufe* (S. 343) kennzeichnen dieselbe unter der Erde.

Der Name *Karst* und der daraus abgeleitete *Verkarstung* stammt von jener vielbesuchten Gegend in Innerkrain, welche von den Slovenen *Kras* genannt wird. Dieses Bergland ist jedoch nur der am weitesten nach Nordwesten vorgeschobene Ausläufer eines weit ausgedehnteren Gebietes, denn als verkarstet kann der ganze westliche Teil der Balkanhalbinsel gelten bis hinab zur Südspitze des Peloponneses. Für ganz Griechenland ist der Karstcharakter der massgebende, und *Partsch* hebt richtig hervor, dass die oft abenteuerliche Hydrographie der alten Griechen grossenteils durch die im Karstgebirge gewonnenen Eindrücke beeinflusst gewesen sei. Andere Karstregionen findet man in Liv- und Esthland (S. 344), in Australien und Südbrasilien, in Wisconsin, Arkansas und Missouri, wo *Pumpelly* eine geradezu ungeheuerliche Denudation des Kalksteines nachgewiesen hat, und nach den Angaben, welche *Rothpletz* über gewisse Erscheinungen im Schweizer Jura gemacht hat [2], fehlen auch diesem Faltengebirge wirkliche Karstpartien nicht. Ein gleiches darf gesagt werden von den Alpen und Pyrenäen [3], sowie selbst von unserem deutschen Mittelgebirge [4]. Aber allerdings

[1]) Den redlichen Bemühungen der österreichischen Forstbeamten ist immerhin die Aufforstung einer bedeutenden Fläche, vornämlich im kroatischen Kapella-Gebirge, gelungen.

[2]) Es haben sich dort in früherer Zeit förmliche *Abzapfungen* ereignet; man begegnet trockenen Seebecken, deren Wasser sich durch unsichtbare Gänge im Kalkgebirge hindurch den Weg nach anderen Thalsohlen gebahnt hat.

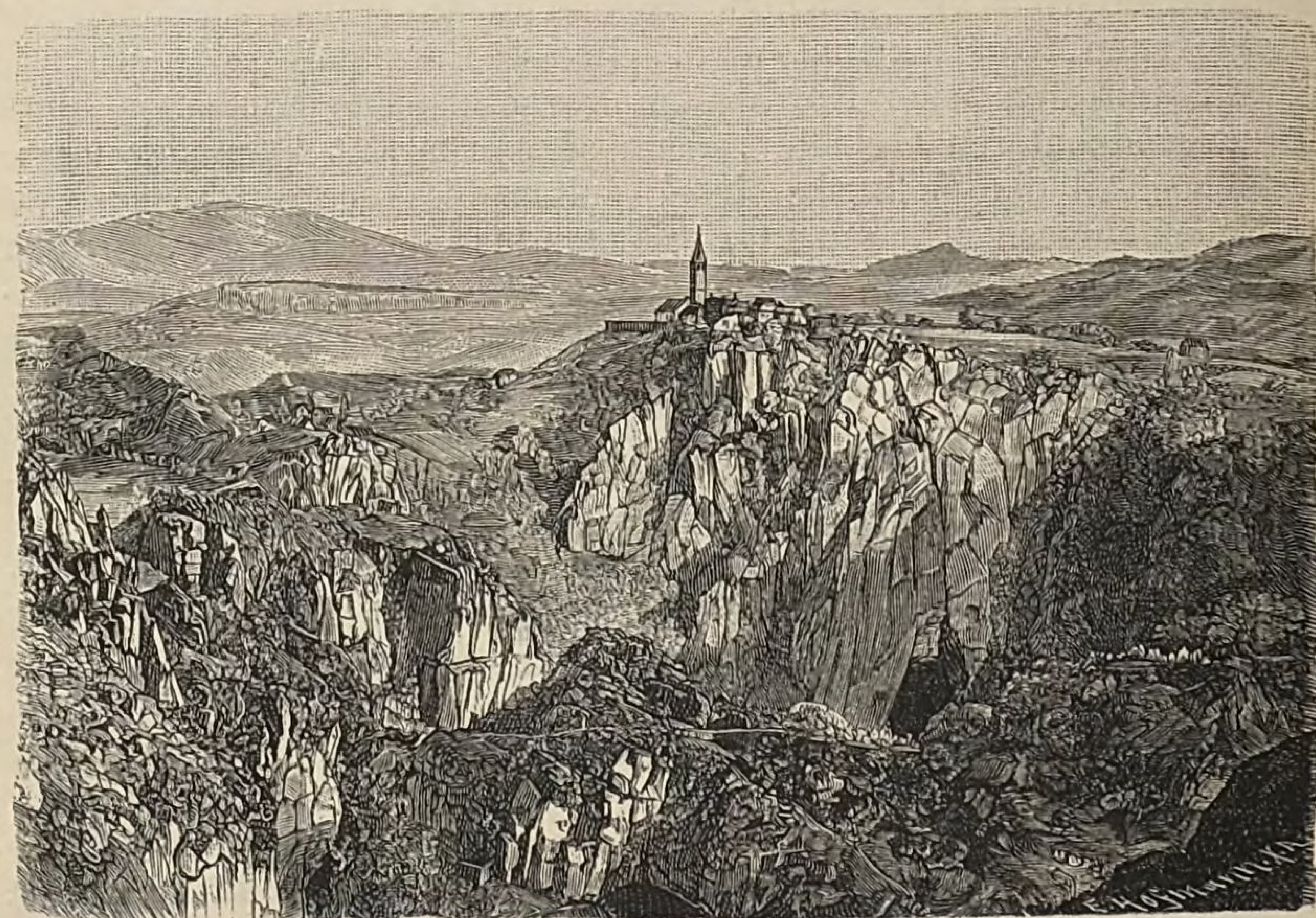
[3]) Grossartige Erosionserscheinungen, teilweise an die Cañon-Region (S. 96), teilweise wieder mehr an Verkarstung erinnernd, sind von *De Margerie* am Mont Perdu beobachtet worden.

[4]) In den Dolomitbergen des südlichen Harzes hat *Schwalbe* nicht weniger als elf Höhlen von ausgesprochenem Karsttypus in Augenschein genommen. Aehnlich auch im Frankenjura. In einer seltenen, aber lesenswerten Schrift von *Schöpf* (Beiträge zur mineralogischen Kenntnis des östlichen Teiles von Nordamerika und seiner Gebirge, Erlangen 1787. S. 102 ff.) beschreibt dieser vielgereiste Autor die Verkarstungsphänomene von Virginien und erwähnt dabei gelegentlich, in seiner fränkischen Heimat gäbe es auch so zerklüftete Stellen. Die Pegnitz z. B. habe auch eine unterirdische Laufstrecke. So wenig bekannt letzterer Umstand auch ist, so hat es doch damit seine Richtigkeit, denn der noch sehr junge Fluss verschwindet in der That gleich unterhalb der Stadt Pegnitz im Jura-Fels, kommt aber schon sehr bald wieder zum Vorschein.

tritt das Phänomen dort überall nur mehr gelegentlich, nicht aber mit solcher Gleichförmigkeit auf, wie in Krain, Westkroatien und Istrien, wo durchweg die Zerklüftung der Kalkfelsen die Regel, das Vorhandensein eines eigentlichen Längthales mit fliessendem Wasser — häufig sind vorab in Bosnien die Thäler mit blindem Ausgange *(„polje“)* — die seltene Ausnahme bildet. *Fig. 157*, das durch seine Grotten (s. u.) berühmte Dorf *St. Kanzian* darstellend, gibt einen guten Begriff von der trostlosen Zerrissenheit der Karstgebirge.

Die auffallende Naturmerkwürdigkeit des Karstes sind die vielen *Höhlen* oder *Grotten* (slavisch *„jama“)*. Nicht alle sind näher erforscht, nur diejenigen von *Adelsberg* und *St. Kanzian*, deren

Fig. 157.



erstere sich durch ihre grotesken Tropfsteinbildungen (S. 341), deren zweite sich durch ihre Kalksinterterrassen (ebenda) auszeichnet, hat man ernstlich in angriff genommen. Die Vermutung, dass diese Hauptgrotten mit den unzähligen anderen Hohlräumen unterirdisch durch Kanäle in Verbindung stehen, kann nicht ganz abgewiesen werden, und in der That ist erst unlängst eine solche Verbindung der Adelsberger Grotte mit der ziemlich entfernten *Höhle von Ottok* ausser Zweifel gesetzt worden. Das österreichische Karst-Komittee ist in dieser Hinsicht unermüdlich, und mit ihm geht auch private Thätigkeit hand in hand. Grossartiges leistete für die Kanzianer Grotten die rastlose, vor den grössten Gefahren nicht zurückscheuende Arbeit dreier bewährter Höhlenforscher, *Hanke, Fr. Müller* und *Marinitsch*, durch welche das Innere dieser gigantischen Aus-

waschung auf eine grosse Strecke hin aufgeklärt worden ist. Man weiss jetzt, dass die Grotte aus einer Reihe gewaltiger Dome besteht, welche durch Erosionsthore — vgl. *Fig. 158* — in Verbindung mit einander stehen; durchströmt wird das Ganze von einem Flusse, dessen Identität mit dem Timaro, wie wir erfuhren (S. 343), noch nicht als gesichert betrachtet werden kann; der Fluss ist mächtig genug, um mit Booten befahren zu werden, und bildet eine

Fig. 158.



zusammenhängende Kette von Wasserfällen, von denen man nicht weniger als achtzehn bereits näher kennen gelernt hat. Der oben erwähnte Ausschuss hat jedoch, da die direkte Befahrung der unterirdischen Wasserläufe wirklich einigen Heldenmut voraussetzt, auch noch zu einem anderen Mittel gegriffen, um sich über deren Laufrichtung zu vergewissern. An vielen Stellen dringen nämlich schmale Schlünde oder Naturschachte tief in die Eingeweide des Felsbaues ein, und indem sich kundige Leute bis auf die Sohle dieser Schachte an Seilen herabliessen, vermochten sie festzustellen, ob dort fliessendes

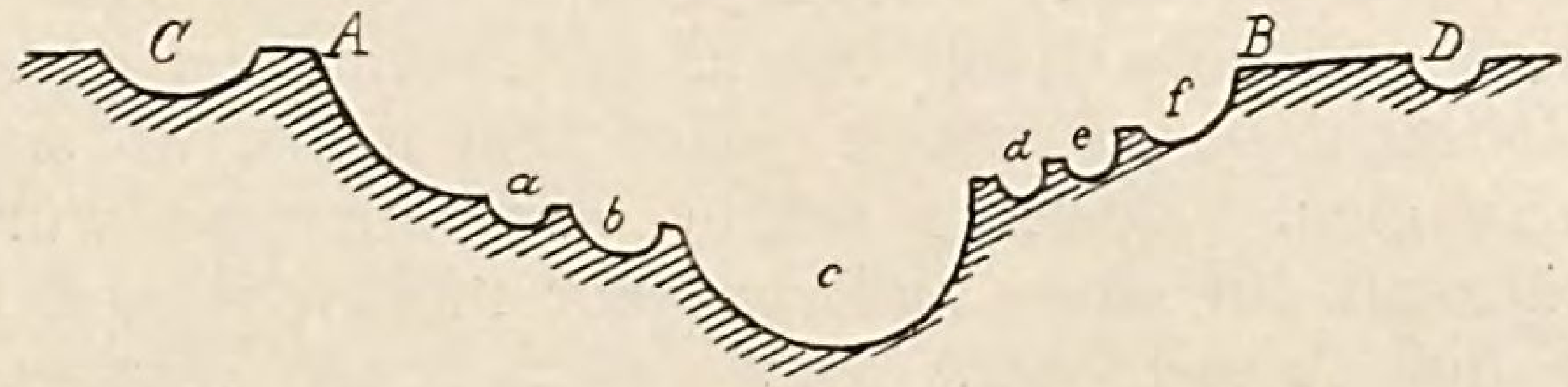
Wasser vorhanden sei. Zumal die Untersuchung des *Rabenloches* (*„vranja jama“*) und des *Schlangenloches* (*„racna jama“*) hat nach dieser Seite hin erfreuliche Aufschlüsse geliefert und die unsichtbaren Wasseradern, welche den Laibach-Fluss ergeben (s. o. *Fig. 106)*, richtiger zu überblicken gestattet.

Die *Karstseen*, deren grosse Mehrzahl im Süden des europäischen Karstgebietes zu suchen ist, haben durchaus das Eigentümliche, dass *subterrane Abzugsrohre* ihnen das überschüssige Wasser entziehen, ja sie sogar zu zeiten fast ganz trocken legen. Schon das griechische Altertum war mit diesen Drainageröhren der Natur bekannt und nannte sie βάραθρα (im arkadischen Dialekte ζέρεθρα), während sie heutigen Tages *Katavothren*, von den Epiroten aber *Verdauer* (χωνεῦτραι) genannt werden; der Slovene begreift diese Saugröhren unter seiner generellen Bezeichnung *„jama“* mit ein, während weiter im Süden *Ami Boué* dafür das Wort *„ponor“* im Gebrauche gefunden hat. Am bekanntesten ist die Entleerung beim *Zirknitzer See* (S. 343), dessen grosses Becken im Hochsommer nahezu wasserlos ist, so dass Feldtiere innerhalb seiner Grenzen gejagt, Rinder geweidet werden. Wenn dagegen bei starkem Regenfalle die Kanäle gefüllt werden, so geben sie ihr sich aufstauendes Wasser wiederum mit solcher Energie ab, dass die Fluten bis in die Gassen des vom Ufer eine gute Strecke abliegenden Dorfes Jezero *(Fig. 106)* eindringen. Als die wichtigsten Saugnäpfe sind zwei Felsen am Ufer, die *„Welika“* und *„Mala Karlouza“* anzusehen, in deren zahllosen Schründen das Seewasser vor den Augen des Beschauers verschwindet; daneben gibt es aber noch zahllose kleinere Saugtrichter im Seegrunde, die nach *Noë* alle ihre besonderen Namen führen. Auch den Boden der Karstseen von Epirus hat *Oberhummer* von Sauglöchern erfüllt gefunden, und beim *See von Laspista* konnte direkt beobachtet werden, wie das Wasser, von jenen Höhlungen aufgesogen, in lebhaftere Wirbelbewegung versetzt wurde. Der *Kopais-See* in Böotien wurde ehedem, als noch nicht der weitaus grössere Teil desselben durch eine französische Aktiengesellschaft in Ackerland verwandelt worden war, durch 20 Kanäle (*Partsch*) entwässert, und sowohl in Argolis wie auch in Arkadien ist Ueberfluss an Abflusstrichtern, welche zum teile in das Meer ausmünden. Letzteres trifft auch zu für den istrischen *Cepic-See*, sowie für den *Rothensteiner See*, nahe der Nordküste des Adriatischen Meeres. Derselbe ist an sich ein Reservoir für kleinere Wasserläufe des Wippach-Bassins, aber seine unterirdische Kommunikation mit dem Meere wird dadurch bezeugt, dass bei Stürmen, ja selbst nur bei Springfluten, wie sie in diesem Teile der Adria (S. 307) nichts unbekanntes sind, sein Spiegel in lebhafte Erregung gerät. Der Abfluss des Sees wird eben zurückgestaut, und das rückströmende Wasser muss notwendig Störungen des Gleichgewichtes hervorbringen.

Eine der am meisten charakteristischen Bildungen des Karstes sind endlich die *Dolinen* (südslavisch = Thälchen). Es sind Einsenkungen des Bodens von ovaler oder völlig kreisförmiger Um-

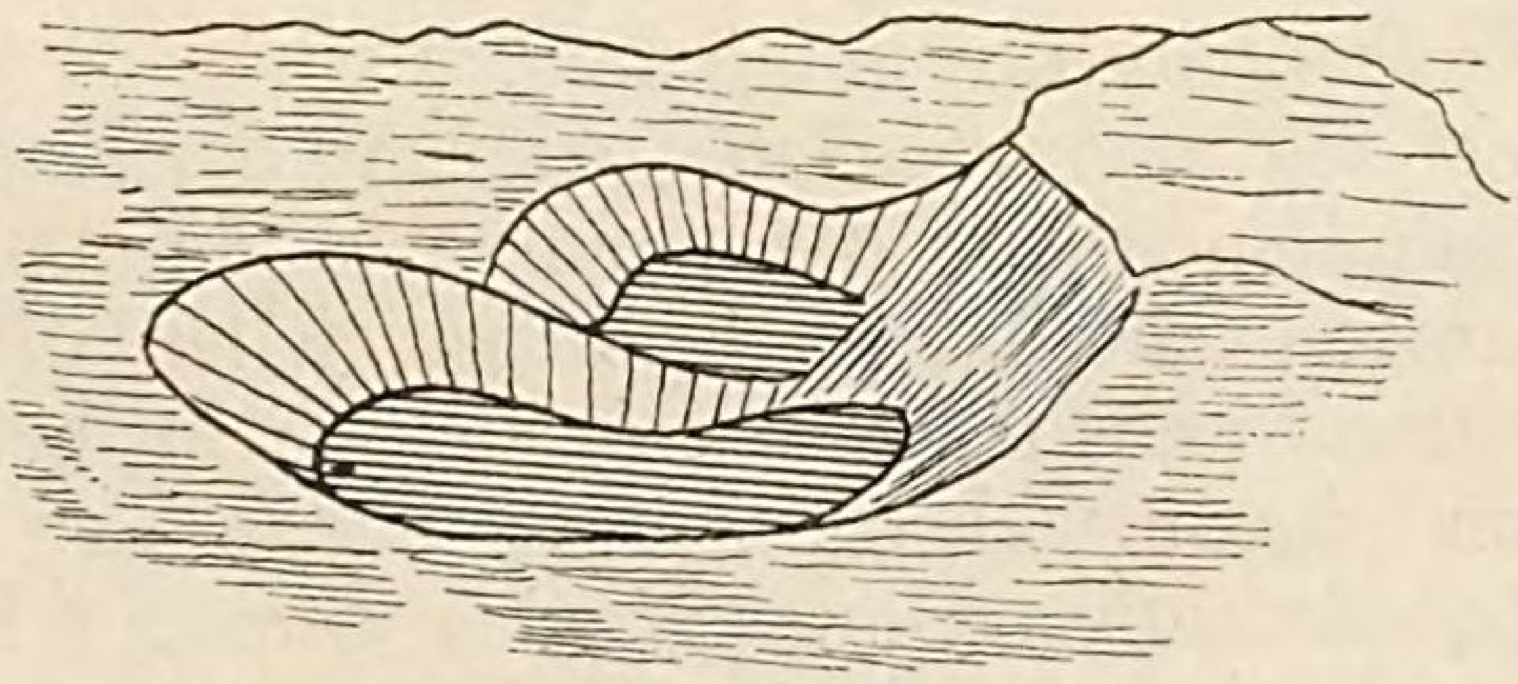
randung; ihre Grösse ist die denkbarst verschiedene, denn während es in Bosnien und Montenegro Dolinen von zwei bis drei Kilometer Durchmesser gibt, findet man in Krain auf einer Fläche von wenigen Schritten im Umkreise eine ganze Anzahl von kleinen Bodensenken. Hie und da enthält eine Doline, welche man Mutterdoline nennen möchte, förmliche Unter- oder Tochterdolinen [1]); in *Fig. 159* sind *C* und *D* im Profile selbständige Dolinen, und *A B* ist die Oeffnung

Fig. 159.



einer grossen Doline, in deren Hohlwänden kleinere Dolinen *a, b, c, d, e, f* einmodelliert sind. Auch geschieht es wohl, dass zwei solche Hohlformen förmlich zusammenwachsen; vgl. in *Fig. 160,* nach *Reyer*s Aufnahme, die *Doppeldoline* von Lesetsche. Ueber die

Fig. 160.



Entstehung der Dolinen ist viel gegrübelt und auch gelegentlich gefabelt worden, wie es denn sogar Leute gibt, die eine vulkanische Genese dieser denkbarst unvulkanischen Bildungen behaupten und in ihnen Geysirs erblicken! Mit Nachdruck bringt solchen Illusionen gegenüber *Kraus,* ein bewährter Karstforscher, die ebenso alte wie wahre Thatsache zur Geltung: *Dolinen sind Einstürze, die in die Klasse der Erdfälle gehören* [2]). Freilich sind dieselben nur selten nach unten offen; meist konnte der Innenraum die Trümmermasse

[1]) Reiche Erfahrungen über das bei aller Monotonie vielgestaltige Wesen der Dolinen kann machen, wer von Gottschee nach Brod a. d. Kulpa reist. Auf diesem Wege sind Formen, wie wir sie eben beschrieben, nicht selten.

[2]) Kleine Tümpel trifft man nicht allzu häufig auf dem Grunde der Dolinen, umso häufiger dagegen armselige Grundstücke der Landbewohner. Die über die Kalkflächen brausende Bora (S. 243) bereitet nämlich dem Feld- und Gartenbau die grössten Schwierigkeiten, und der Bauer ist deshalb froh, dass die zahlreichen oder richtiger zahllosen Erdfälle ihm einige Sicherheit für das Ansäen gewähren.

nicht vollständig aufnehmen, aber ein zwingender Beweis für die Richtigkeit der Theorie ist jedenfalls der, dass man in mehreren Höhlen Anhäufungen von Trümmerschutt gerade an Stellen antraf, welche genau vertikal unter einer Doline gelegen sind. Die Erosion ist an der Entstehung der Gruben nicht direkt beteiligt, aber allerdings hat sie nachher das ihrige gethan, um die Steilränder der Hohlkegel in sanftere Böschungen überzuführen. Die meisten Karstseen sind morphologisch den Dolinen zuzurechnen, doch gibt es Ausnahmen [1].

Wie ungemein schwierig unter solchen nur ganz summarisch geschilderten Verhältnissen die Hydrographie der Karstlandschaft sich gestaltet, braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden. Von der Mehrzahl der Gewässer weiss man nicht, wo sie her- und wo sie hinkommen. Einzelne solche Vorkommnisse wurden schon berührt, während auf einen anderen sehr merkwürdigen Fall kürzlich *Kraus* hingewiesen hat. Die *Rinsche,* an welcher Gottschee liegt, reicht bei Niederwasser bis zu diesem Städtchen, bei Hochwasser aber bis zu dem die Thalmulde westlich absperrenden Schweinberger Riegel. Dass sie in die Kulpa mündet, ist nach den Terrainverhältnissen an sich klar, allein dem Auge ist die Einmündungsstelle entrückt. *Valvasor* allerdings, dem man ein noch heute lesenswertes Werk [2]) über die Naturgeschichte dieser Länder verdankt, meint, der „Teufelsrachen“ bei Wilpen sei es, durch welchen das Gottscheer Wasser seinen Austritt nehme, und *Kraus* hält dies durchaus nicht für unmöglich.

Hinsichtlich der theoretischen Erklärung der Karsterscheinungen ist daran festzuhalten, dass die geringe Widerstandsfähigkeit des Kalkgesteines gegen zerstörende Einflüsse, jedenfalls in Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen, die in betracht kommenden Gebiete zu einem wahren Tummelplatze der verschiedensten erodierenden und denudierenden Agentien gemacht hat. „Die kombinierten Wirkungen“, so spricht sich *Tietze* aus, „einer teils oberirdischen teils unterirdischen Wasserzirkulation nach den gewöhnlichen hydrostatischen und hydrodynamischen Gesetzen, Erosionseffekte im Inneren von Kalkgebirgen, chemische Auslaugungen, mechanische Auswaschungen, Bildung von Hohlräumen und Einstürze der Decken dieser Hohlräume, Gleichgewichtsstörungen und Wiederherstellung des Gleichgewichtes, das sind die Ursachen der Verkarstung“. Dies alles unbedingt zugegeben, kann man doch fragen, ob nicht ein weiteres Moment hinzutreten musste, um die erwähnten Faktoren zu besonders ausgiebiger Kraftentfaltung anzuspornen. Da meinen nun *v. Mojsisovics* und *Hörnes,* dadurch, dass

[1]) Der Zirknitzer See ist z. B. jedenfalls nicht als ein einfaches Einsturzbecken aufzufassen; dem widerspricht seine ganze Gestalt. Sein Thal gehört zu jenen Hohlräumen, bei deren Entstehung der Karsttypus schon teilweise vom Typus des eigentlichen Längsthales verdrängt wird, wie dies nach *Kraus* namentlich auch im Thale von Loitsch sich offenbart.

[2]) *Freiherr v. Valvasor*, Die Ehre des Herzogtums Crain. Laybach 1689. In dem merkwürdigen Buche findet man die ersten Versuche, die Niveaudifferenzen einzelner Karstseen messend zu bestimmen.

die Kreideschichten, aus denen das Karstterrain vorwiegend besteht, sich im Zustande der Fältelung befanden, sei die Erosion befähigt worden, mit erhöhter Kraft einzusetzen. *Tektonische Vorgänge hätten also vorgearbeitet.* Wir haben früher schon (S. 455), als wir von der Bildung der Durchbruchsthäler handelten, erfahren, dass die Erosion des fliessenden Wassers eine ganz andere, ungleich energischere wird, wenn ihr Angriffsobjekt nicht im Ruhe-, sondern in einem wie immer gearteten Bewegungszustande sich befindet.

II. *Aeolische Formationen.* Darauf, dass auch die bewegte Luft gesteinsbildend wirken kann, ist oben (S. 66) hingewiesen worden. Depressionen zwischen Hochlandgebieten werden dann, wenn die Gegend sehr regenarm ist, langsam aber ununterbrochen durch den von den Winden zusammengewehten Schutt ausgefüllt werden; man spricht dann von *äolischen* oder *subäerischen Bildungen,* und *v. Richthofen* ist es gewesen, der unter den lebhaften Eindrücken seiner hochasiatischen Wanderungen eine Theorie dieser eigentümlichen Sedimentation aufgestellt hat [1]). Viel Staub wird fortgewirbelt, bis er ins Meer, in Flüsse, in abflusslose Seen gelangt, aber wenn Massen desselben über ganz ebene oder doch nur sanft geneigte Flächen weggetrieben werden, und wenn zudem Vegetation vorhanden ist, um die Staubteile festzuhalten, so bilden sich eigentliche Detritusschichten, welche sich mehr und mehr verdicken und verfestigen. Schon ein einziger jener gewaltigen Staubstürme lässt eine *messbare* Schicht feiner erdiger Bestandteile zurück, und wenn dann Regen fällt, was nicht allzu häufig geschieht, so führt das atmosphärische Wasser die Erdteilchen nicht fort, weil es überhaupt keinen Abfluss findet, sondern es wirkt mit, die Schicht am Boden fest zu machen, und letzterer wird dadurch um einen angebbaren Betrag erhöht. Alle etwa früher vorhandenen Unebenheiten des Bodens verschwinden unter der die Hohlräume ausfüllenden Staubdecke; die äolischen Formationen sind durch ihre *Nivellierungstendenz* ausgezeichnet, zu deren Durchführung die durch das Wasser von den benachbarten Hängen herabgespülten Trümmermaterialien ebenfalls ihren Beitrag leisten. Dieser äolische Boden ist im allgemeinen fruchtbar, teils seiner chemischen Beschaffenheit wegen, teils aus dem Grunde, weil die Lockerheit des Gefüges den Pflanzenwurzeln ein bequemes Eindringen möglich macht. Auf S. 74 wurde der sogenannte *Löss* lediglich unter dem naturgeschichtlichen Gesichtspunkte beschrieben; jetzt können wir mit *v. Richthofen* den Satz aufstellen: *„Die äolischen Sedimente der Steppen sind Löss, und Löss ist durch Erosion aufgeschlossener Steppenboden“* [2]). An organischen

[1]) Unabhängig hat, lange vor dem Erscheinen des grossartigen Werkes *v. Richthofens* über China, der bekannte Seemann *v. Wüllerstorf-Urbair* die geophysikalische Bedeutung der Staubverwehung gekennzeichnet. Sein überaus gedankenreiches Schriftchen erschien als Bestandteil der der Grazer Naturforscherversammlung überreichten Festgabe (Ueber die Veränderungen in der Verteilung der Materie an der Oberfläche der Erde, Graz 1875).

[2]) Allerdings erkennt die Geognosie auch anderweiten Aufschüttungen feiner, leicht zerreibbarer Erde die Bezeichnung als Löss zu. So besteht der

Einschlüssen ist eine subaërische Formation arm: Landkonchylien, Steppengräser, vereinzelte Knochen von Steppen- und Raubtieren kommen fossil darin vor.

Sehr originell gestalten sich im Lössterrain die Erscheinungen der Korrasion (S. 417). Wenn nämlich in das einförmige Plateau der Staubgebilde später fliessendes Wasser eindrang, sei es dass eine Klimaänderung eintrat, sei es, dass eine Bodenumwälzung den Fluss nach jenen Gegenden hinleitete; so setzte die Flusserosion mit grösster Kraft ein, und es ergab sich eine *„endlose Mannigfaltigkeit der Ziselierung“*. Tief eingeschnittene Hohlschluchten, isolierte Pfeiler, denkbarst kühne Mäanderwindungen der Ströme kennzeichnen ein *korradiertes Lössterritorium,* wie solche im westlichen China ungemein häufig sind. Für die Landesverteidigung, sagt *v. Richthofen,* könne man sich kein besseres Terrain wünschen, weil dem Angreifer von der Natur nur wenige schmale Strassen übrig gelassen sind, die der Verteidiger mit leichter Mühe durch Befestigungen abzusperren vermag.

Die postglaziale Epoche der Diluvialzeit hat auch in Mitteleuropa äolische Bildungen entstehen sehen, wie dies von *Nehring* in einer längeren Reihe von Abhandlungen und zuletzt noch in einem besonderen Werke[1]) dargethan worden ist. Staub und Flugsand haben während jenes Zeitraumes auch in unserem Vaterlande eine bedeutende Rolle gespielt, allerdings aber keine so ausschlaggebende, wie etwa in Mittelasien. Wir werden auf die Verhältnisse, unter denen es zur Ablagerung subaërischer Massen kam, in dem nächsten Abschnitte dieses Paragraphen wieder zurückgeführt werden.

III. *Steppen und Wüsten.* Solche Erdstriche, in denen sich die äolische Ablagerung mit besonderer Lebhaftigkeit vollzieht, werden wir mit *v. Richthofen* als *Steppen* bezeichnen dürfen; doch sind innerhalb dieses Gattungsbegriffes immerhin noch verschiedene Erscheinungsformen unterscheidbar. In der meist auf kleinere gebirgige Bezirke beschränkten *Steinsteppe* ist das Material noch wenig aufgearbeitet, noch wenig zerkleinert, so dass polyedrische Trümmerstücke — z. B. die Dreikanter (S. 416) — den Boden bedecken. In grösserer Entfernung vom Gebirge wird die Steppe mehr und mehr zu dem, als was wir sie vorhin kennen gelernt haben; unterbrochen aber wird ihre gleichförmige Sand- und Staubbedeckung

Seelöss aus den vormals in Salzseen und Salzsümpfen gebildeten Niederschlägen; es gibt *glazialen Löss*, der sich vor den Endmoränen der vorzeitlichen Gletscher ausbreitet, und *fluviatilen Löss.* Zu letzterer Kategorie rechnet z. B. *Leppla* die von ihm untersuchten Lössanhäufungen der grossen westpfälzischen Moorniederung, welche ihm zufolge weder durch die Winde noch durch Mitwirkung der Gletscher entstanden sein können. Dagegen scheint die äolische Provenienz nicht geleugnet werden zu können für die berühmte *russische Schwarzerde*, den *„Tscherno-sem“*, für den *„Regur“*, welcher den dritten Teil von Südindien bedecken soll, und wohl auch für gewisse amerikanische, früher als Residuen ausgetrockneter seichter Meerbusen aufgefasste Lössbildungen.

[1]) *Nehring*, Ueber Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fauna, Berlin 1890.

durch Oertlichkeiten, an denen der Grund mit weissen Salzeffloreszenzen besäet ist: es sind dies die schon S. 323 besprochenen *Salzsteppen*, die nicht selten in wirkliche *Salzwüsten* übergehen.

Denn der Uebergang von der Steppe zur eigentlichen *Wüste* vollzieht sich ziemlich stetig, so dass oft schwer zu sagen ist, wo eine Landschaftsform aufhört und die andere ihren Anfang nimmt. Eine Wüste ist, wieder unserem obigen Gewährsmanne zufolge, eine *Region äolischer Abräumung und Aufbereitung mit Zurücklassung des Gröberen.* Damit dieser Prozess sich ungestört vollziehen könne, muss die Einwirkung des Wassers auf ein Minimum beschränkt sein, und thatsächlich ist denn auch die Regenhäufigkeit eine überaus geringe, die sparsam ausgeteilte Vegetation eine solche, welche auch bei geringer Zufuhr von Feuchtigkeit gedeihen kann[1]). Freilich fehlt es keiner Wüstenregion gänzlich an atmosphärischen Niederschlägen, aber wohl an jeder gleichmässigen Verteilung derselben, so dass also wohl mitunter heftige Wolkenbrüche niedergehen, die an den Berglehnen ungeheure Denudationszerstörungen anrichten und die gewöhnlich leerstehenden Erosionsschluchten — im Arabischen *Wadis* genannt — mit einer kurzlebigen Hochflut erfüllen, nachhaltige Aenderungen des Wüstencharakters aber nicht zuwege bringen. Dass die viel gehegte Meinung, erst in geschichtlicher Zeit habe die „Verwüstung" namhafte Fortschritte gemacht, sich klimatologisch, geologisch und historisch nicht erweisen lässt, wurde schon (S. 271) angedeutet; *Tietze* hat die Gegenargumente gesammelt und betont u. a., dass schon in den Religionsvorschriften des *Zarathustra* der Unterschied zwischen dem trockenen Persien und dem feuchten Hyrkanien eine Rolle spiele.

Während der Europäer meist die Ansicht hegt, der riesige Wüstenstreifen, welcher vom Ostrande des Atlantischen Ozeans durch Afrika und Asien hindurch bis zur Mandschurei reicht und die äquatoriale Begrenzung der subtropischen Zone (S. 267) darstellt, sei im ganzen wenig differentiiert, eine einheitliche Landschaftsform, wissen die Geographen, dass, wennschon ein gewisser gemeinsamer Grundzug sich nicht ändert, gleichwohl erhebliche *regionale, auf geographisch-physikalische Merkmale zurückzuführende Verschiedenheiten* hierselbst obwalten, und das nämliche darf von den Wüsten Südafrikas, Australiens, Amerikas behauptet werden. Als typische Charaktere scheiden *v. Richthofen* und *Walther* die folgenden vier aus: die *Felswüste*, die *Kieswüste*, die *Sandwüste* und die *Lehm-*

[1]) Von den *Regenbäumen* der Tropen hat *Rohlfs* eine Beschreibung geliefert. Sie können des Regens unglaublich lange, vier bis fünf Jahre, ermangeln, ohne zu grunde zu gehen, aber es wohnt ihnen dafür eine ganz ungewöhnliche Fähigkeit inne, sich aus der nie ganz fehlenden gewöhnlichen Feuchtigkeit der Atmosphäre zu versorgen. Das aus ihren Zweigen abfliessende Wasser verwandelt die nähere Umgegend in einen kleinen Sumpf. Andererseits gedeihen im Gebiete der Salzsteppe die sogenannten *Salzpflanzen*, die ungemein widerstandsfähig sind und vielfach zur Sodabereitung dienen. Untermischt mit sauren Gräsern, liefern sie das Hauptkontingent zu dem berüchtigten Buschlande Neuhollands, dem „*Skrub*".

wüste. Die zuerst genannte, welche in der Sahara *Hammâda* genannt wird [1]) und es dort zu wirklichen Bergen (bis zu 2500 m im *Tusside*) bringt, betrachtet *Walther* als die Embryonalwüste. Ausgezeichnet ist das Wüstenhochland durch den Mangel an Schutthalden, welche in unseren Alpen dem Bergbesteiger seine Wege bahnen [2]). Wenn dann die Wüstendenudation (S. 404, 416) lange genug thätig gewesen ist, dann sind die einst steilen Erhebungen eingeebnet, unabsehbar dehnt sich die platte Ebene aus, und nichts anderes erblickt das ermüdete Auge des Reisenden, als braungefärbte, scharfkantige Steinfragmente, grossenteils aus fossilen Ueberresten des Tertiärzeitalters bestehend. Die braune Farbe ist die allein herrschende, während sonst in der Steinwüste, wie *Lenz* angibt, dunkelblaue Kalk- und (seltener) Sandsteine den Vorrang haben. Wenn die Kiesel abgerundet sind und der Boden in flachen Wellen verläuft, so hat man es mit jener Form der Wüste zu thun, welche in der östlichen Sahara vorherrscht und *Sserir* genannt wird, welche *v. Richthofen* aber auch in der Mongolei nachgewiesen hat. Die Sandwüste endlich ist es, an welche man zunächst denkt, wenn überhaupt das Wort Wüste ausgesprochen wird. Endlos dehnen sich die *Sanddünen* aus, welche 150 und mehr Meter Höhe erreichen und in steter Wanderung begriffen sind, die gefährlichsten Feinde (S. 344) der Oasen [3]). Meeresdünen sind dies nicht, vielmehr geht aus den Forschungen *v. Zittels* und *Walthers* zweierlei hervor: einmal, dass kein Meer seit dem Ende der mesozoischen Aera dieses Wüstengebiet überflutete [4]), und zum zweiten, dass der Flugsand wesentlich das Verwitterungsprodukt des Urgesteines und des kretazischen Sandsteines ist. Die Lehmwüste endlich hat ihren Sitz hauptsächlich in der westlichen Sahara, auf der Sinai-Halbinsel und in der Region der Schotts (S. 327); für sie kann ein mariner Ursprung, aber natürlich auch nicht in jüngerer geologischer Vergangenheit, zugegeben werden.

Die mittlere Quartärzeit, nach dem Ende der grossen Vergletscherung, war durch eine weit energischere Entwicklung der

[1]) Bezüglich des Wortes Hammâda scheint noch einige Unsicherheit zu herrschen. *Walther* subsumiert diese Wüstenform der Kieswüste, während die meisten Schriftsteller darin einen Unterfall der Steinwüste erkennen zu sollen glauben.

[2]) *Schweinfurth* drang einmal bis tief in das Innere des Wadi Rischrasch vor, sah sich aber nach dreitägiger Reise zur Rückkehr auf demselben Wege gezwungen, weil keiner der Thalhänge sich irgendwo als ersteigbar erwies.

[3]) Das Wort *Oase* ist eine Verstümmelung des altägyptischen *Uahu*, welches „Wohnplatz" bedeutet. Wir haben schon erfahren, dass die Existenz eines solchen von reichem Pflanzenwuchse bedeckten Erdfleckes inmitten der Wüste an eine Quelle — eine natürliche oder eine künstlich erschlossene — gebunden ist.

[4]) Die afrikanische Wüstentafel (S. 125) besteht in der Hauptsache aus azoischen und sehr alten paläozoischen Bildungen. Vom Karbon bis zum Jura, diesen mitgerechnet, klafft eine weite Lücke, und erst gegen das Ende der mesozoischen Aera vollzog sich eine grosse Kreide-Transgression. Aus dem Kreidemeere tauchte die Tafel auf, um von nun an keiner irgend namhafteren Umgestaltung mehr teilhaftig zu werden.

Steppen- und Wüstenbildungen ausgezeichnet, als die Gegenwart. Den Beweis dafür hat *Nehring* (s. o.) wesentlich durch paläontologisch-tiergeographische Schlüsse geführt, und man muss einräumen, dass letztere so überzeugend sind, als man es von biologischen Argumentationen nur immer verlangen kann.

IV. *Die Moränenlandschaft.* Schon zu wiederholten malen war in diesem Buche von der *Eiszeit,* ihrer *Periodizität* und von den Spuren die Rede, mittelst deren man das Vorhandensein diluvialer Gletscher auf nunmehr eisfreiem Gebiete nachzuweisen in der Lage ist (S. 269 ff., S. 392 ff., S. 421 ff.); nunmehr handelt es sich darum, die Gesamtheit der Kennzeichen ehemaliger Eisbedeckung übersichtlich zusammenzustellen. *Als Moränenlandschaft bezeichnen wir ein abgegrenztes Gebiet, das während der Glazialperioden von Gletschern bedeckt war.* Das Studium der Besonderheiten, welche eine Moränenlandschaft als solche charakterisieren, hat zur Ausbildung eines besonderen Wissenszweiges, der *Glazialgeologie,* geführt, welche im Verlaufe der letzten zwei Jahrzehnte einen achtunggebietenden Stand erreicht hat, und zwar verdient dieser rasche Fortschritt umso mehr Anerkennung, als die ganze Disciplin wenig mehr denn ein Jahrhundert alt ist und mit ungewöhnlichen Schwierigkeiten zu kämpfen hatte. Als die Schweizer *Venetz*, *Charpentier* u. a. die Grundsätze aufgestellt hatten, welche im wesentlichen auch für die spätere Forschung die Richtschnur abgeben, wandten sich Geologen ersten Ranges, wie *Murchison* und *L. v. Buch,* mit der grössten Schroffheit gegen die neue Lehre, welche aber durch die ungemeine agitatorische Geschicklichkeit von *L. Agassiz* das Feld behauptete [1]).

Dreierlei voneinander geschiedene Arten glazialer Kriterien haben wir vom Beginne an zu unterscheiden. Kraft seines wenn auch bescheidenen erosiven Vermögens hat der eiszeitliche Gletscher an dem Gesteine, über welches er sich langsam hinwegschob, Spuren zurückgelassen: *der anstehende Fels ist eigenartig geschrammt und gekritzt*, *dabei an anderen Stellen wieder so glatt,* dass der menschliche Fuss kaum auf solchen Stellen zu haften vermag. Man nennt letztere *Gletscherschliffe* [2]), und ihre Existenz gewährt die sicherste Bürgschaft dafür, dass man auf altglazialem Boden sich befindet [3]).

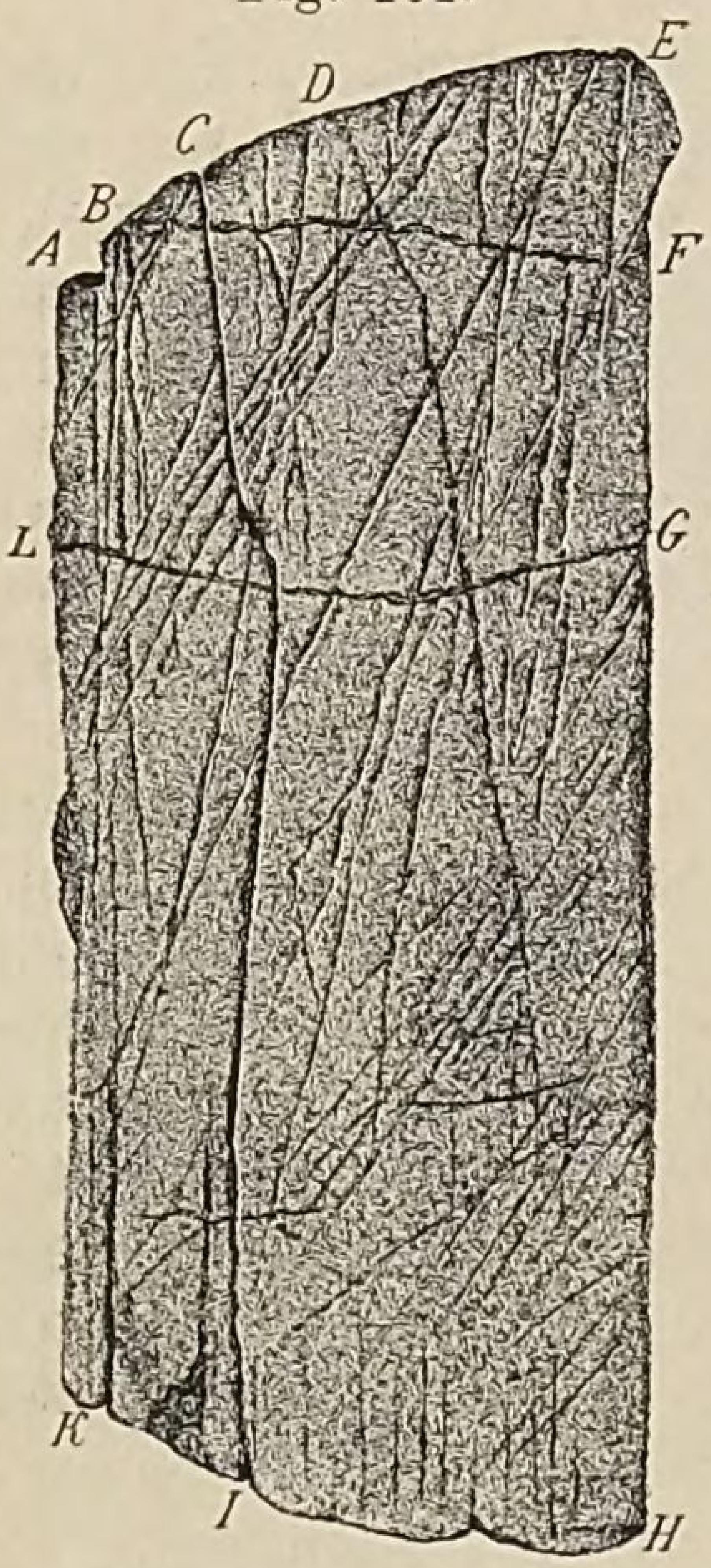
[1]) Die Geschichte der glazialen Geologie schildert von ihren ersten schüchternen Anfängen an vortrefflich das erste Kapitel in *Penck*s „Vergletscherung der deutschen Alpen" (Leipzig 1882).

[2]) Solcher Gletscherschliffe kennt man im Vorlande der Alpen eine sehr grosse Zahl. Eine besonders ausgezeichnete Stelle dieser Art, nahe bei Berg am Würm-See, hat der Deutsch-Oesterr. Alpenverein käuflich erworben und mit einer Umfriedigung versehen, um das Verwischen der typischen Glazialspuren durch häufiges Betreten zu verhindern.

[3]) Freilich hat der Forscher sich sehr vor den *Pseudoglazialspuren* zu hüten, welche schon manchen übereifrigen Anfänger zu falschen Annahmen geführt haben. So reibt das Weidevieh sich mit Vorliebe am Felsen und glättet dieselben in einer Weise ab (*Kuh- und Schafschliffe*), dass nicht bloss ganz oberflächliche Beschauer in Versuchung geführt werden. Wie ferner *Blaas* unlängst hervorhob, bewirken auch die *Lawinen* Steinkritzungen, deren Natur nur dadurch zu erkennen ist, dass die Streifen einen allzu ausgesprochenen Paral-

Mancherorts, zumal in der Westschweiz, treten die Schliffe als sogenannte *Rundhöcker (Roches moutonnées)* [1]) auf; niedrige, ganz glatt abgeriebene Felsbuckel von Halbkugelform erfüllen eine grössere Fläche. Es treten weiter hinzu die Ueberreste der Grund- und Endmoränen; die Steinwälle, welche letztere charakterisieren (S. 392), sind vielfach noch sehr wohl erhalten und geben Aufschluss über die verschiedenen Vorstösse, welche der diluviale Gletscher gemacht hat. Endmoränen, von denen es feststeht, dass sie zu dem nämlichen Gletscher gehören, liefern auch demnach einen Beitrag zur Lösung der Frage nach der Anzahl der Interglazialperioden (S. 394). Thäler, welche an den Endmoränen entspringen, sind gewöhnlich mit Geröllmassen bedeckt, denen die Glazialgeologen den Namen *Niederterrassenschotter* beigelegt haben. Derselbe drängt sich in ganz eigentümlicher Weise an die Endmoränen heran und in diese hinein, so dass eine nur vom kundigen Auge zu entwirrende Uebereinlagerung entsteht (vgl. die nach *Brückner* gezeichnete *Fig. 162*). *A* und *B* ist die Bezeichnung für die vom Schotter teilweise bedeckte Moräne, welch letztere wieder bei *b* und *c* tief in das Gerölle eingeschoben ist. Erst bei *D* nehmen die Lagerungsverhältnisse der Terrassenschotter wieder die regelmässige Form an; sie bilden auch, wie der Sockel *F* zeigt, die Grundlage des Ganzen. Sehr bemerkenswert sind auch die Stauchungen der Schottermassen, welche man bei *a* und *E* wahrnimmt. *b C* ist, wie *Brückner* sich den Bildungsprozess denkt, ein Erosionskanal, durch welchen der zwischen dem inneren Stirnwalle *B* und dem äusseren Stirnwalle *A* angesammelte Schotter *E* abfliesst, nachdem *A* vorher durchbrochen worden war. Geschiebemassen kennzeichnen auch die Residuen der

Fig. 161.

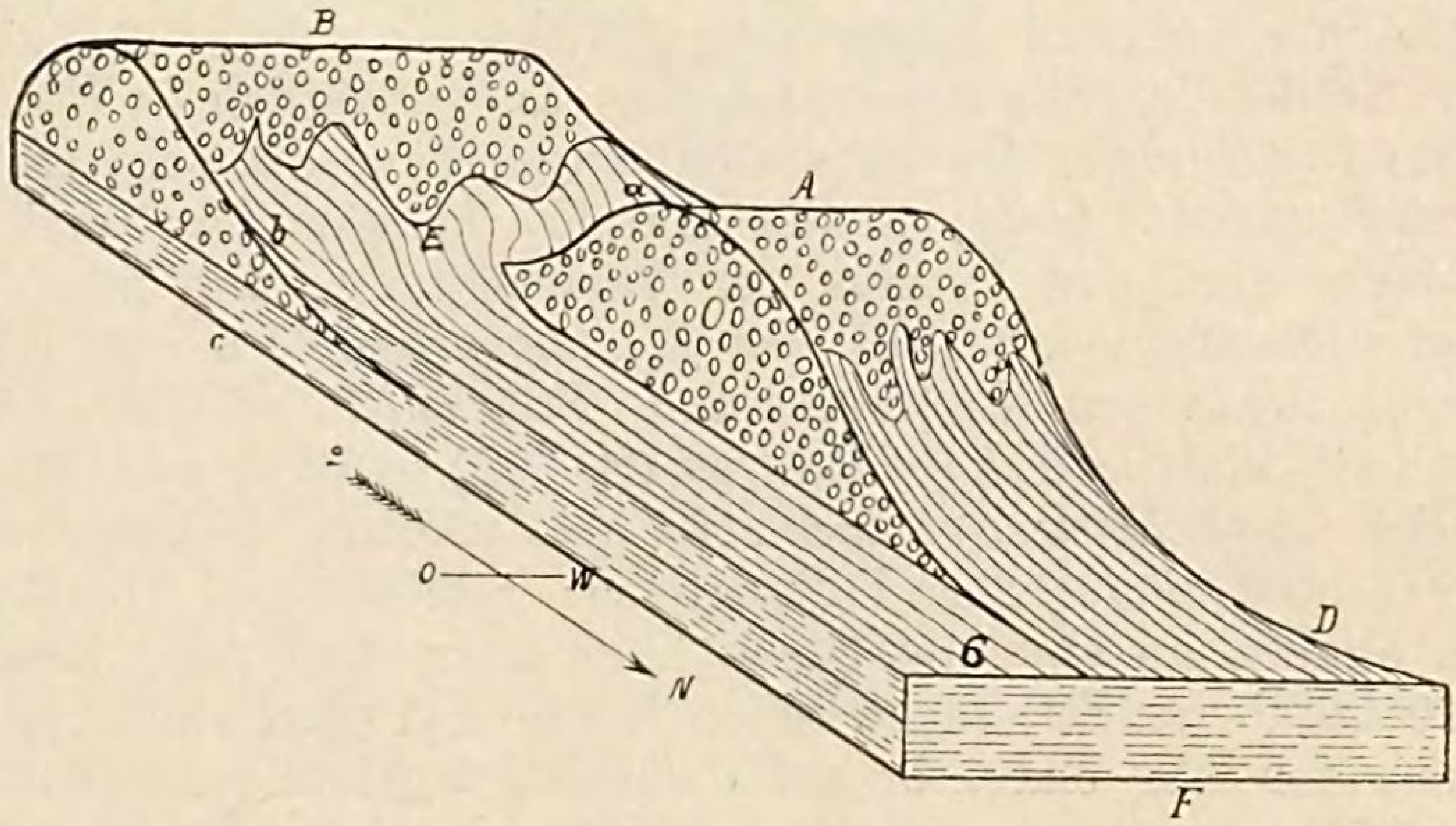


lelismus aufweisen. Letztere gehören also auch zu den häufiger, als man glaubt, vorkommenden Erscheinungen, welche die französischen Geologen „*stries pseudoglaciaires*“ nennen. *Erray* hat solche an anstehendem Jurafels bemerkt, der gewiss niemals mit einem Gletscher in unmittelbarer Verbindung stand, und *O. Lang* in gleicher Weise am Göttinger Muschelkalk (*Fig. 161*). Nicht sowohl die tieferen Höhlungen *BF*, *LG*, *BK*, *CJ*, *DH* sind es, welche das Handstück *AEHK* als einem Gletscherbette entnommen auszuweisen scheinen, als vielmehr die feinen Parallelstreifen, die ganz den Eindruck der Aechtheit hervorrufen. *Lang* hat gezeigt, dass man an einem in den Schraubstock eingeklemmten Gesteinsfragmente künstlich solche Streifungen zu erzeugen imstande ist.

[1]) Angeblich kommt diese Lokalbezeichnung daher, weil, aus der Ferne gesehen, solche Schliffelsen wie eine Herde an einander gedrängter Schafe sich ausnehmen.

Grundmoräne, auf welch letztere auch die Löss- und dem Löss ähnliche Massen zurückzuführen sind, welche die äusserste Erstreckung des Moränengebietes kennzeichnen. Sie enthalten Ueberreste diluvialer Gastropoden und sind dadurch von dem Gehänge-

Fig. 162.



lehm zu sondern, der zum öfteren ohne eigentliche Berechtigung auch dem Löss zugerechnet worden ist. Grundmoränen und Ufermoränen zusammen treten ab und zu in der Form kompakter *Breccien* (S. 78) auf, bei deren Durchforschung schon wertvolle Ergebnisse erzielt worden sind [1]).

Als drittes Kriterium dafür, dass ein Ort dereinst im Banne der grossen Uebereisung sich befunden habe, betrachtet man die *erratischen Blöcke.* Im Flachlande, weit ab vom Gebirge, begegnet man vereinzelten Steinklötzen von der verschiedensten Grösse [2]) und von solcher Beschaffenheit, dass sich sofort die Unmöglichkeit ergibt, sie mit dem Untergrunde, auf welchem man sie jetzt findet — auch *Findlinge* werden sie wohl genannt — in irgendwelche geognostische Verbindung zu bringen [3]). Schon zu Ende des vorigen

[1]) Besonders bedeutungsvoll ist für die Wissenschaft die an das Kalkgebirge nördlich von Innsbruck sich anlehnende Schutthalde geworden, welche die Gelehrten unter dem Namen der *Höttinger Breccie* kennen. *Stur* und *v. Ettingshausen* hatten dieselbe, einzelner darin gefundener Pflanzenreste halber, für eine tertiäre Bildung (homotaktisch zu den „Oeninger Schichten") erklärt, aber bei der späteren Untersuchung durch *Penck, Blaas* und andere Glazialforscher stellte sich heraus, dass die Breccie ein *diluviales Moränenaggregat* ist. Da jedoch Schichten, die gar keine Gletscherspuren an sich tragen, mit unverkennbaren Residuen der Vereisung wechsellagern, so gab die Höttinger Breccie den ersten Anlass zur Aufstellung der seitdem so gut wie sicher bewahrheiteten Hypothese, dass es keine zusammenhängende Eiszeit gab, sondern dass dieselbe durch Zwischenperioden totalen Gletscherrückganges unterbrochen gewesen sein muss.

[2]) Viele sind einfache Handstücke, aber im unteren Rhonethale liegt z. B. ein erratischer Block, auf dessen Gipfel mehrere menschliche Wohnungen erbaut worden sind.

[3]) Die Findlinge und Gerölle des baltischen Küstenlandes bestehen z. B. grossenteils aus gothländischem Silur (S. 87). In den Moränenaufschlüssen der

Jahrhunderts waren skandinavische und schweizerische Forscher auf die Wanderblöcke aufmerksam geworden, aber die kataklysmatische Geologie jener Zeit (S. 83) bestand darauf, dass nur eine jener ungeheuren Fluten, welche in regelmässigen Fristen die ganze Physiognomie des Erdballes umgestalten sollte, Felsstücke von ihrem anstehenden Gesteine losgetrennt und in grosse Fernen transportiert haben könnte. Als die eigentliche Fluttheorie ausgelebt hatte, trat an ihre Stelle die weit besser begründete, vorzüglich in Frankreich gepflegte *Drifttheorie,* der aber auch angesehene deutsche Geologen, wie *Stapff* und *O. Lang,* in der Hauptsache zugethan sind. Dieselbe denkt sich den Prozess der Verfrachtung, wie folgt: *Findlinge und Moränenschutt sind Verwitterungsprodukte der Hochgebirgsgletscher, welche von Eisbergen und Eisschollen schwimmend fortgeführt und, als die Träger landfest* (S. 292) *wurden, von diesen, die allmählich ins Schmelzen kamen, in dem seichten Meeresgrunde abgesetzt worden sind.* Das Diluvialmeer verlief, und die Gesteinsmassen blieben an Ort und Stelle liegen. In dem noch keineswegs zu Ende geführten Streite zwischen Drift- und Glazialtheorie scheint sich doch der Sieg endgiltig auf die Seite der letzteren zu neigen [1]), deren Erklärung in der That an Einfachheit nichts zu wünschen übrig lässt: *Die erratischen Blöcke sind Bestandteile der Mittel- und Randmoränen der eiszeitlichen Gletscher; sie rückten bis zum Gletscherende vor, und da, wo die Ablation den Sieg davontrug, blieben sie als sprechende Zeugen der ehemaligen Eisbedeckung liegen.*

Auf grund der im vorstehenden skizzierten Kennzeichen konnte die *geographische Verteilung der Gletscher während der früheren Diluvialzeit* mit grosser Sicherheit ermittelt werden. Wir halten uns hier bloss an Europa, obwohl auch für andere Erdteile diese Aufgabe bereits mit Erfolg in angriff genommen worden ist [2]). Für die Pyrenäen ist die Existenz einer Eiszeit schon von *Charpentier* und *Martins,* mit grösserer Sicherheit aber von *Penck* nachgewiesen worden [3]). In ausgedehnter Arbeit hat *Partsch* die Eiszeitspuren in den Karpathen, sowie in den westlich an diese sich anschliessenden deutsch-böhmischen Grenzgebirgen aufgesucht, und auch den meisten deutschen Mittelgebirgen fehlen dieselben nicht; *G. Gerland* wies solche in den Vogesen nach, und nur die Behaup-

Umgegend von München andererseits sind Gesteine enthalten, welche die Untersuchung mit dem nur innerhalb enge begrenzter Bezirke anstehenden Julier- und Adamello-Granit identifizierte.

[1]) Der auf den ersten Blick plausibelste Einwurf wurde von *Stapff* gemacht, aber eine mit Berücksichtigung aller Umstände vorgenommene Berechnung *v. Drygalski*s zeigte, dass derselbe nicht so gefährlich ist, wie er vielleicht anfänglich aussah. Es handelte sich darum, ob nicht eine von der Kammlinie Skandinaviens nach der Erdoberfläche gelegte Tangentialebene ein so geringes Gefälle besässe, dass man ein Herabrücken der dortigen Ferner auf einer so wenig geneigten Fläche nicht für möglich halten sollte.

[2]) Die *Schottertische* („*Mesas*") z. B., welche *Sievers* in den Gebirgen von Venezuela entdeckte, deuten darauf hin, dass sie, als dort die Enteisung sich einleitete, abgesetzt worden sind.

[3]) Allerdings nur im Osten, denn in den mehr westlich gelegenen Teilen der Pyrenäen sind unzweideutige Glazialkriterien noch nicht aufgefunden worden.

tung, dass auch der Böhmerwald reich an Glazialmarken sei, konnte vor der Nachprüfung *Pencks* und *Böhms* nicht bestehen. Die ganze norddeutsche Tiefebene ist erfüllt mit Ueberresten der grossen *aus den skandinavischen Gebirgen niedergegangenen baltischen Eisströme*, über welche *Keilhack*, *Lundbohm*, *Berendt* u. a. Licht verbreitet haben [1]). Sie scheinen sehr langsam abgeschmolzen zu sein, denn z. B. der baltische Höhenzug hat nach *Ule* noch einen Eismantel getragen, als nördlich und südlich von ihm längst alles eisfrei geworden war. Am regsten bethätigte sich die Forschung natürlich im Gebiete der Alpen. Das bayerisch-schwäbische Alpenvorland war sozusagen das klassische Gebiet, auf welchem die Glazialgeologie vom Kinde zum Manne heranwuchs; die noch schüchtern tastenden Versuche von *Stark* dienten als Einleitung, ihnen folgten die immer bestimmter auftretenden Arbeiten *v. Gümbels* und *v. Zittels*, und zuletzt fasste *Pencks* verdienstvolles Werk (S. 483) ältere und eigene Studien zu einer für seine Zeit erschöpfenden Darstellung zusammen. Auch die westlicher gelegenen Gletschergebiete des *Rheines* und der *Limmat* sind durch *Heim* und *Penck* durchforscht worden [2]); das Territorium des *Salzachgletschers* fand seine Spezialisten in *Fugger* und *Brückner* [3]), der die von den alpinen Eisströmen fortgewälzten Felstrümmer auch an Orten auffand, wo man sie gemeiniglich nicht zu suchen pflegt [4]), und die *Ostalpen* sind von *Böhm* als ergiebige Fundstätten von Gletscherspuren erkannt worden (S. 422). Man war vielfach auch in der Lage, *die von den vergrösserten Alpengletschern bei ihrer Fortbewegung eingeschlagenen Wege aufzuzeigen* [5]).

[1]) Zu den auszeichnenden Merkmalen der Moränenlandschaft Niederdeutschlands gehören die *Geschiebestreifen*, die sich von Vorpommern aus bis zur Lüneburger Heide verfolgen lassen. Der Vater der mecklenburgischen Landeskunde, *Boll*, hatte diese in augenfälligem Parallelismus angeordneten niedrigen Erhebungen zwar bemerkt, aber deren richtige Deutung musste ihm natürlich verborgen bleiben. *Geinitz* hat dann gefunden, dass man es hier mit geschiebereichen Moränenschuttmassen zu thun hat, welche grossenteils dem oberen, zum teile jedoch auch dem unteren Diluvium zuzurechnen sind.

[2]) Die Nordgrenze des eiszeitlichen Rheingletschers wurde von *Penck* präzisiert. Danach geht aus dessen Gebiete die Donau zwischen Riedlingen und Munderkingen hervor.

[3]) Aus *Brückners* zahlreichen Ergebnissen heben wir nur das eine, beachtenswerte heraus, dass Inn- und Salzachgletscher sich nicht völlig die Hand gereicht haben. Die Hügelkuppe, auf welcher sich heute die Stadt Traunstein erhebt, ist zu keiner Zeit vom Eise überflutet gewesen (vgl. auch S. 96).

[4]) In Häuser, Kirchen, Feldmauern sind erratische Ueberreste vielfach eingemauert; manche Kirche ist nach *Brückner* eine geognostische Musterkarte eines Gebirgsteiles, welcher von dem heutigen Fundorte 100 km und mehr entfernt ist. *A. Favre* meint auch, die Hälfte des zu allen Baulichkeiten im Kanton Genf verwendeten Gesteinsmateriales sei von der Montblancgruppe auf glazialem Transportwege geliefert worden.

[5]) So durfte *Penck* z. B. behaupten, der Pass über den Fernstein sei von den Gletschern nicht benützt worden, denn ihm fehlen alle und jede Moränenüberbleibsel. Wahrscheinlich erhob sich in jener Periode noch ein höheres Querjoch an jener Stelle, dem die Eisströme auswichen, und der zur Zeit so viel besprochene Pass entstand erst durch eben denselben Gebirgszusammenbruch, welcher auch dem Eib-See das Leben gegeben zu haben scheint (S. 472).

Das geographische Hauptresultat aller dieser Bemühungen gipfelt in nachstehendem Satze:

Während eines grossen Teiles der älteren Quartärzeit lag fast ganz Deutschland unter einer mächtigen Eisdecke begraben, völlig ebenso, wie dies für Grönland (S. 395) *heute noch der Fall ist. Vom skandinavischen Hochgebirge her wie auch von unseren Alpen ergossen sich gewaltige Eisströme resp. nach Süden und Norden, und wenig fehlte, dass sich dieselben im Herzen Mitteleuropas vereinigt hätten. Indessen blieb ein schmaler westöstlich gerichteter Landstreifen, ungefähr dem gegenwärtigen Franken entsprechend, auch damals vollkommen eisfrei.* —

Es übrigt noch ein Wort über den generellen landschaftlichen Charakter der Moränengebiete. Dieselben stellen sich dar als ein sanftgewelltes, meist fruchtbares Hügelland, reich an kleineren Tümpeln und grossen Seen, in dessen lockeren Grund die Gebirgsflüsse sich tiefe Betten eingeschnitten haben [1]). Der Blick des Fachmannes scheidet leicht die *innere* von der *äusseren Moränenzone*; erstere lässt die Endmoränen meist ohne besondere Schwierigkeit erkennen, während weiter aussen nur gewaltsame Aufschlüsse des Bodens eine Einsicht in diese Trümmerwälle verstatten.

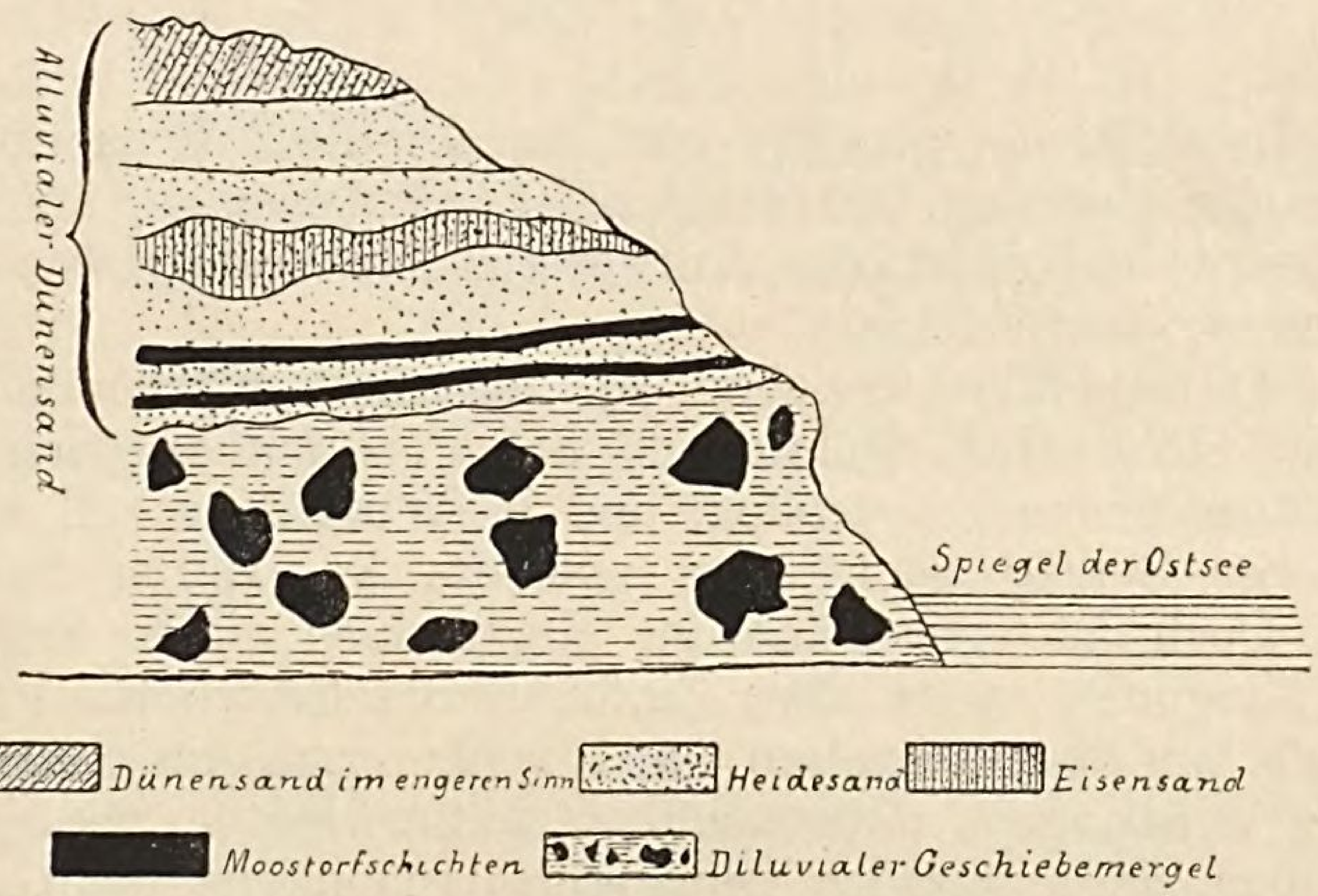
Die Küstenbildung. Einzelne Fragen der *Lehre von der Küstenbildung*, nämlich alle diejenigen, deren Objekt die *Zerstörungsthätigkeit* des Meeres bildet, sind bereits in Abschnitt XVI zur Besprechung gebracht worden. Allein das Meer ist nicht minder auch ein *Landbildner*; seine aufbauende Thätigkeit steht mit der zerstörenden in einem ununterbrochenen Kampfe, da ja nicht alles losgelöste Material zur Erhöhung des Meeresbodens verwendet, sondern zum teile gleich wieder am Ufer abgesetzt wird, und aus diesem Kampfe bildet sich allgemach dasjenige heraus, was wir die *Konfiguration der Küsten* nennen.

Wirkt das Meer allein konstruktiv, ohne dass noch ein anderer Faktor mit ins Spiel kommt, so ist es vor allem die *Dünenbildung*, welche unsere Aufmerksamkeit auf sich lenkt. *Dünen* finden sich an allen einigermassen flacheren Küsten; es sind flache Sandanhäufungen, in denen sich gewöhnlich eine geschichtete Anordnung der Bestandteile erkennen lässt, wie dies durch das in *Fig. 163* wiedergegebene, nach *Bezzenberger* und *Berendt* gezeichnete Profil eines Dünenhügels von der kurischen Nehrung anschaulich gemacht wird. Auf das Diluvium folgt nach oben zu vielfach zuerst Torf, daran reiht sich älterer Sand von oft sehr verschiedenartiger Qualität, und zu oberst liegt eine mächtige Schicht eigentlichen Dünensandes. Alles in diesen Uferhügeln angesammelte Material, wenigstens soweit es

[1]) Erinnert sei nur an das Isarthal mit seinen Terrassen und an die Schlucht, welche sich der Inn bei der Halbinsel von Wasserburg in die diluvialen Schuttansammlungen gegraben hat. Auch die Ammer, der Oberlauf der Amper (S. 355), fliesst in ihrem Mittellaufe durch eine lange und tiefe Terrainfurche.

alluvialen Ursprunges ist, entstammt dem Meere; nach einer von *Bayberger* mitgeteilten Berechnung sollen an der Ostseite des Atlantik Jahr für Jahr sechs Millionen Kubikmeter Sand und fein verteilte, geschlämmte Erde abgelagert werden. Nur der Sand wird zur Dünenbildung verwendet; die Bewegungen des Meeres und der Luft bewirken den Bau, letztere jedoch in stärkerem Masse. Wäre die Fläche, über welche der mit feinen Sandteilchen beladene Wind hinstreicht, vollkommen glatt, so würde einfach ein äolisches Sediment entstehen; kleine Hindernisse dagegen geben die Ansatzpunkte zum Entstehen der Dünen [1]). Indem die Luft an diesem Hinder-

Fig. 163.



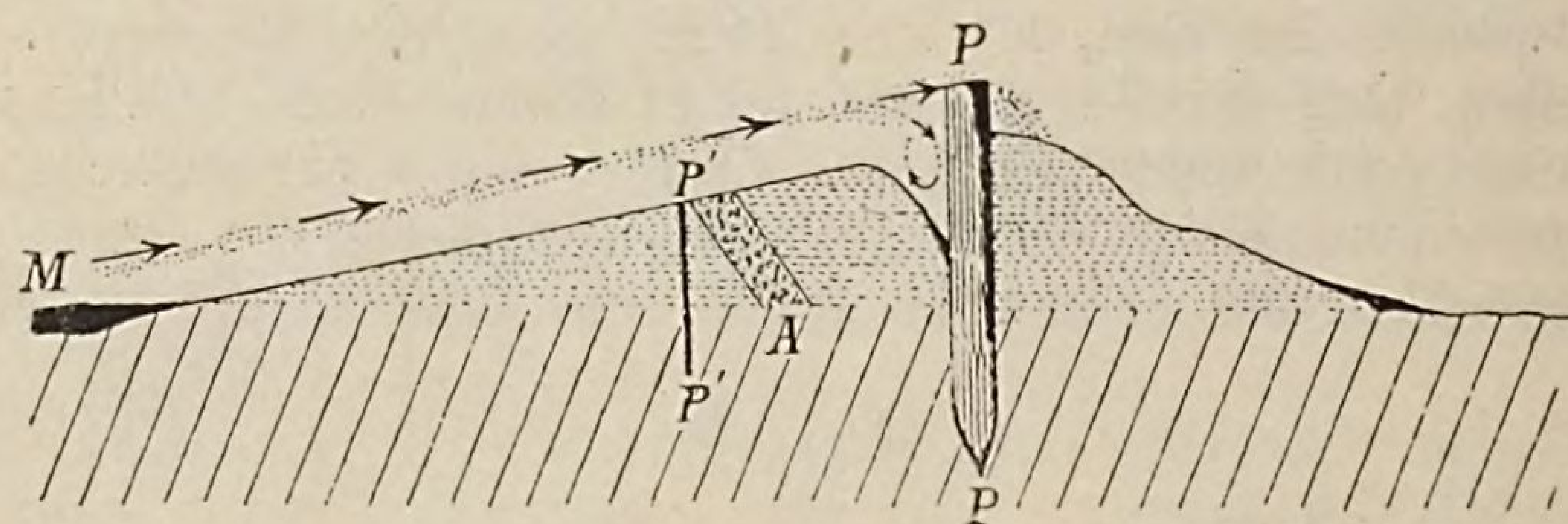
nisse sich staut, entstehen in ihr kleine Wirbel, welche ein Sinken und Herabfallen der Sandkörner zur Folge haben; nur eine kleinere Menge Sandes überschreitet den vorliegenden Gegenstand, und von dieser letzteren wird abermals ein Bruchteil in grössere Fernen fortgeführt, während ein anderer infolge der beim Ueberschreiten des Hemmnisses entstehenden Reibung gleich hinter jenem zu Boden fällt. So wird allmählich das Objekt, an dem sich die Luft brach, vollständig in einen Sandhügel eingehüllt; *jeder Dünenhügel ist auf der Luvseite sanft, auf der Leeseite viel steiler geböscht, und zwar lässt das Böschungsprofil eine gegen die Horizontale konvexe Krümmung erkennen* [2]). In *Fig. 164* sind die hier beschriebenen Ver-

[1]) Auffälligerweise hat ein bekannter Geograph, *Bouthillier de Beaumont*, die gewöhnliche Theorie der Dünenbildung angegriffen; er schreibt den Meeresfluten die Hauptrolle, dem Winde so gut wie gar keine Rolle bei der Erbauung der Dünen zu, deren Verfestigung wesentlich durch das Seesalz besorgt werde. *Zobrist* hat diese schon durch das thatsächliche Vorhandensein von Sandhügeln an der Küste gezeitenloser Binnenmeere widerlegte Anschauung in einer besonderen Schrift (Neuchatel 1888) bekämpft.

[2]) Die Profilkurve kann nach neueren Versuchen über den Zusammenhalt sich selbst überlassener Sandhaufen mit derjenigen in Parallele gestellt werden, welche wir als Meridiankurve der Stratovulkane (S. 137) kennen gelernt haben.

hältnisse abzubilden versucht worden. Der vom Meere *M* kommende Sand hat den Pfahl *P' P'* bereits überflutet, so dass von demselben nichts mehr an der Oberfläche sichtbar ist, und nun steht der Sand-

Fig. 164.



strom im Begriffe, ein gleiches mit dem Pfahle *P P* zu thun. Man sieht, dass der Vorgang kein anderer ist, als derjenige, mit welchem wir uns bereits anlässlich des Aufwerfens der *Schneewehen* (S. 369) vertraut zu machen hatten.

Die Dünenwälle erreichen an manchen Küsten eine ganz respektable Höhe; bei Stolpmünde hat *P. Lehmann* kleine Berge von 20—30 m Höhe angetroffen, und in Westafrika soll sich nach *Reclus* dieser Betrag noch sehr namhaft, bis 120 m und 180 m steigern. Doch ist eine Düne im allgemeinen nichts *Stabiles,* sie hegt die Neigung, unter dem Einflusse des Seewindes gegen das Binnenland hin fortzuschreiten, und wenn auch die Geschwindigkeit dieses Vordringens mitunter überschätzt wird, so lässt sich doch nicht leugnen, dass an jeder Dünenküste schon viel mit Kulturland und menschlichen Wohnungen bedeckter Boden dem Wandersande zum Opfer gefallen ist. Am meisten da, wo es an Pflanzenwuchs fehlt, um den Sand aufzuhalten, wie etwa in den französischen *„Landes“* (Guyenne), einer durch sinnlose Geldspekulation des sie schützenden Waldes beraubten Gegend. Man pflanzt *Sandhalm* und *Strandhafer* an, zwei Grasarten, deren Wurzeln sich gerne zu engem Geflechte ineinanderschlingen, so dass die Düne vollständig verfestigt wird [1]), nicht anders, als wenn durch Faschinenzäune den Muhrgängen der Giessbäche (S. 356) ein Ziel gesetzt wird.

Aus dem feinen Schlamme des Meeres, von welchem oben die Rede war, bildet sich das fruchtbare *Marschland,* das an manchen Küsten erst jenseits der Dünenreihe, anderwärts aber direkt am Strande seinen Anfang nimmt [2]). *Senft* unterscheidet dreierlei

[1]) Gegen die Kaninchen, welche zu Ende des vorigen Jahrhunderts der Pflanzendecke der Dünen grossen Schaden zufügten, sahen sich die Holländer genötigt, einen förmlichen Vernichtungskrieg in Szene zu setzen.

[2]) Das Marschland kann physikalisch als ein weiches, jeder Einwirkung von aussen nachgebendes Polster angesehen werden. Indem *v. Rebeur-Paschwitz* mit dem von ihm verbesserten und namentlich zur photographischen Registrierung eingerichteten Horizontalpendel (S. 33) regelmässige Beobachtungen sowohl in Wilhelmshafen als auch im astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam anstellte, nahm er an erstgenanntem Orte gewisse periodische Boden-

Hauptarten des Marschbodens: den *Knick*, einen gelbbraunen, sehr plastischen Thon, den aus Thon, Sand, kohlensaurem Kalk und tierischen Ueberresten sich zusammensetzenden *Schlei* und endlich den *Schlick*, ein Konglomerat aus Thon, Quarzmehl und Humusbestandteilen. *Polder* [1]) sowohl wie Marschen sind nach *Prestel* und *Ohling* angesammelter Schlick, und dieser kann sich nur dort bilden, wo salziges Seewasser dauernd mit Flusswasser in Berührung tritt. Was der Schlick im Uferstreifen ist, das wird, als ältere geologische Bildung, in grösserer Entfernung von der Küste *Wühlerde* genannt. Soeben war bereits von den *Wechselwirkungen zwischen Meer und Fluss* Notiz zu nehmen; wir wollen uns mit denselben nunmehr unter einem umfassenderen Gesichtspunkte beschäftigen. Die Dünen haben häufig Gelegenheit, die Mündung eines Flusses oder Baches zu verlegen, aber auch die Flüsse sind bei diesem Landbildungsprozesse, der in letzter Instanz zur Entstehung eines Abschnürungssees führt, keineswegs unbeteiligt: sie führen, wenn der Meeresteil, in den sie münden, unbewegt ist, ihre mitgebrachten Sinkstoffe weiter in das Meer hinaus und erzeugen durch Abgabe ihrer Detritusmassen eine *Barre*, d. h. eine zunächst noch unterseeisch verlaufende Bodenschwelle, welche mit der Zeit sich über den Wasserspiegel erhebt. In letzterem Falle heisst die Barre *Nehrung* (russisch *„peressip“*, italienisch *„lido“*); solange dieselbe einen Meeresteil nicht ganz und gar abschnürt, führt letzterer an unseren Küsten den Namen *Haff* oder *Wiek*, und anderwärts ist die Bezeichnung *Lagune* im Gebrauche. Eine solche noch durch eine einzige schmale Oeffnung oder durch mehrere Arme [2]) mit dem freien Meere kommunizierende Bucht kann nun leicht in einen Strandsee übergehen (russisch *„liman“*, italienisch *„stagno“*, französisch *„étang“*). Solche Strandseen sind insonderheit an der Mittelmeerküste häufig. Einen Mittelzustand kann man noch dadurch konstruieren, dass man mit dem Italiener die *„laguna viva“* von der *„laguna morta“* unterscheidet; erstere nimmt noch am Leben des Meeres, an dem grossen Pulsschlage der Gezeiten, anteil, während die tote Lagune nicht mehr von den Gezeitenströmungen erreicht und in Mitleidenschaft gezogen wird [3]). *Fig. 165 b* stellt eine solche im letzten Stadium

schwankungen wahr, wovon im Binnenlande keine Spur zu bemerken war. Er vermochte sich diese Thatsachen nur durch folgende Annahme zu erklären: *Der Marschboden reagiert auf jede Veränderung in der Stärke des Luftdruckes, indem er selbst sich in gleichem Sinne hebt und senkt.*

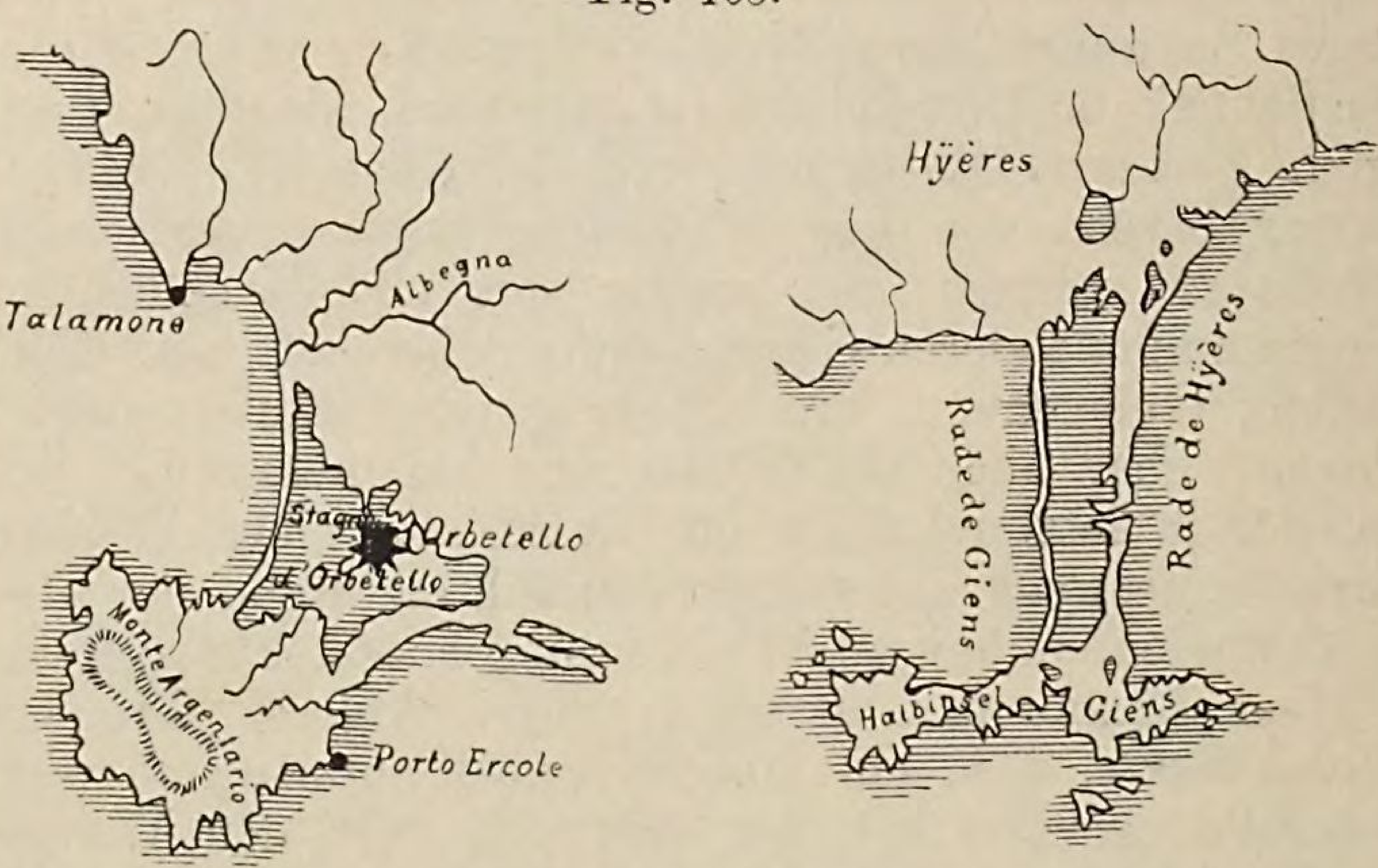
[1]) Polder nennt der Niederdeutsche ein durch Dämme gegen das Meer geschütztes, resp. durch Austrocknung dem Meere selbst abgewonnenes Stück der Marsch.

[2]) Hierher gehört z. B. das *Stettiner Haff*. Die dasselbe durchströmende Oder hat sich in drei Armen, der *Dievenow*, *Swine* und *Peene*, den Eingang in die Ostsee erzwungen; zwischen diese Arme schalten sich die Inseln Usedom und Wollin ein.

[3]) Um den Widerstreit zwischen Fluss und Meeresströmungen, der den Niederschlag der Sinkstoffe besonders befördert, thunlichst hintanzuhalten, haben die Venetianer ihren berühmten Riesendamm von *Malamocco* aufgeführt. Gleichwohl ist die Lagune der ehemaligen Seekönigin aufs äusserste gefährdet, durch die Schuttablagerungen der Brenta u. s. w. „getötet“ zu werden, und die Küste

des Absterbens begriffene Lagune von der südfranzösischen Küste dar, und wenn die letzte schmale Oeffnung vom Sande zugebaut sein wird, dann ist aus derselben ganz derselbe, langsam versumpfende und Miasmen aushauchende Strandsee geworden, der (*Fig. 165 a*)

Fig. 165.



a *b*

die kleine toskanische Inselfestung Orbetello umgibt. In diesem letzteren Falle waren ebenfalls zwei Lidos vorhanden, welche den vielleicht noch zur Römerzeit insularen Monte Argentario mit dem Festlande verbunden haben.

Je nach der Beschaffenheit der sich ihnen vorlegenden Küste kann man die *Flussmündungen* morphologisch kennzeichnen. Der Anregung *v. Sonklar*s folgend, hat *Credner* das folgende, ziemlich erschöpfende Schema aufgestellt:

<table>
<tr><th colspan="2">Mündungen ohne vorgelagerte fluviatile Schwemmlandbildgn.</th><th colspan="3">Mündungen mit vorgelagerten fluviatilen Schwemmlandbildungen</th></tr>
<tr><th>Ohne Rinnsal-erweiterung</th><th>Mit Trichter-öffnung</th><th>Einfache Oeffnungen</th><th colspan="2">Geteilte Oeffnungen</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Duero
Guadiana
Letina
Limpopo
Kunene</td><td rowspan="3">Elbe, Weser
Themse
Seine
Loire
Garonne</td><td rowspan="3">Ebro
Arno
Hoangho
Pei-ho</td><td colspan="2">Erweiterte Mündungskanäle</td></tr>
<tr><td>vorhanden</td><td>nicht vorhanden</td></tr>
<tr><td>Po
Rhône
Mahanaddi</td><td>Ganges
Niger
Irawaddi</td></tr>
</table>

Eine *Deltamündung* ist bei der zuletzt in unserer Tabelle stehenden Kategorie von Flüssen vorhanden, und die in eine ein-

des Adriatischen Meeres schiebt sich immer weiter nach Osten, resp. Süden vor, wie das Beispiel der alten Seestädte Aquileja, Adria, Ravenna beweist.

fache Trichtermündung auslaufenden Ströme haben ein *Aestuarium* (negatives Delta) [1], d. h. Ebbe und Flut beherrschen auch noch weite Strecken im Unterlaufe des Flusses (vgl. das Flussgeschwelle, S. 313).

Die Deltabildung hat *Credner* zum Gegenstande einer eingehenden Untersuchung gemacht. Aeusserlich kann man *vorgeschobene Deltas* (Mississippi, Lena) und *Ausfüllungs-Deltas* (Nil, Donau) unterscheiden, allein es ist dieser Gegensatz kein tief gehender, vielmehr beruhen beide auf denselben Grundursachen. *Primäre Ursache ist selbstverständlich die Sedimentalablagerung der Flüsse, aber nur dann wird durch diese mehr als eine blosse Erhöhung des Flussbettes und Meeresgrundes bewirkt, wenn gleichzeitig an der betreffenden Stelle die Uferlinie eine Senkung, eine negative Verschiebung, erfährt* (S. 128). Für sehr viele Deltas, welche Bildungen übrigens auch vielen *Binnenseen* [2]) nicht fremd sind, trifft diese *Credner*sche Regel zu, während einige andere sich derselben einstweilen noch nicht mit vollständiger Sicherheit unterordnen lassen.

Verbinden wir mit den im vorigen über das Meer als Landbildner gegebenen Aufschlüssen diejenigen, welche uns Abschnitt XVI über das Meer als Zerstörer gebracht hat, so sind wir in den Stand gesetzt, eine *genetische Tafel der Küstenformen* aufzustellen (vgl. S. 469) [3]. Eben bei dieser Gelegenheit können auch die *Häfen*, als

[1]) Das gleichschenklige Dreieck (△), welches diesen Alluvionen ihren Namen gab, ist nämlich bei den echten Deltas grossenteils mit Festland, bei den Aestuarien nur mit Wasser ausgefüllt.

[2]) Bekannt ist z. B. das Delta der Adda, welches im Laufe der letzten Jahrhunderte den Lago di Mezzola vollständig vom Lago di Como abgetrennt hat. Ein ganz gleiches Schicksal droht in absehbarer Frist dem schönen See von Silvaplana im oberen Engadin; das Delta des Flüsschens, auf dem der gleichnamige Ort selbst liegt, wird bald das gegenüberliegende Ufer erreichen.

[3]) Eine solche hat *Hahn* entworfen, und zwar mit wesentlicher Berücksichtigung der Anforderungen der wirtschaftlichen Geographie. Es empfiehlt sich dabei, Steilküsten und Flachküsten getrennt zu behandeln. A und B sollen resp. das Zeichen für diesen Gegensatz sein.

A. I. *Norwegischer* oder *Fjord-Typus*. Tief eingerissene Felsschluchten (S. 430) mit vorgelagerten Steilinseln. — II. *Schwedischer* oder *Skjären-Typus*. Er ähnelt dem vorigen, nur sind die Landeinschnitte minder scharf ausgeprägt. Zumal die Küste der Provinz Svearike ist mit kleinen Felseilanden, den *Scheeren*, eingesäumt; doch findet man den Typus auch in der japanischen Inlandsee nach *Rein* gut ausgebildet, und auch die *Scoglien* der Karstküste (S. 67) sind im Grunde solche Scheeren. — III. *Asturischer Typus*. Viele kleine, weniger stark differentiierte Felsbuchten, in Nordspanien als *Rias* bekannt. Kusteninseln fehlen so gut wie gänzlich. — IV. *Ostschottischer Typus*. Die schon der Etymologie nach mit den Fjords übereinstimmenden „*Firths*“ sind tonangebend, doch steigt die Küste langsamer und in sanfterer Böschung an, als in Norwegen oder Asturien. — V. *Mediterraner Typus*. Das Küstengebirge fällt schroff ab, ohne grössere Einbuchtungen, doch bleibt zwischen seinem Fusse und dem Uferrande noch ein ebener Streifen (ligurische Riviera, Ostküste des Kaspischen Meeres mit *C. Ritters* „Strasse von Derbent“. — VI. *Normannischer Typus*; dem vorigen nahe verwandt, nur ist der Strandstreifen jetzt in gänzlichen Wegfall gekommen, und mauergleich steigt das Küstengebirge aus den Fluten auf.

B. VII. *Gascognischer Typus*; flache, gradlinig verlaufende Küste mit zahlreichen Strandseen und Sümpfen. — VIII. *Venetianischer Typus*, gleichbedeutend mit *Lagunenküste*. — IX. *Friesischer* oder *Watten-Typus*. Wie früher

spezielle Formen von Meereseinbuchtungen, auf die ihnen bei aller grundsätzlichen Gemeinsamkeit anhaftenden Besonderheiten geprüft werden [1]).

Entstehung und Klassifikation der Inseln. Wenn wir unter einer Insel ein allseitig von Wasser umgebenes Stück festen Landes verstehen, so ist diese Bezeichnung zwar, wie schon *Kant* erinnerte, keine ganz eindeutige, da ja auch die grossen Kontinentalmassen im Wasser liegen, aber ein wirkliches Missverständnis ist jedenfalls nicht denkbar. Wie so vieles, so machte auch die Inseln zuerst *Varenius* zu einem Gegenstande vergleichend-geographischer Studien; ihm folgte der wenig bekannte *Wülfer,* der die ersten, wennschon noch schwachen systematischen Versuche auf diesem Gebiete wagte, und *G. R. Forster,* dessen Blick durch langjährige Seereisen geschärft war, brachte die äussere Form der polynesischen Eilande mit der Art ihrer Bildung in kausale Verbindung. Eine durchgreifende Klassifikation der Inseln war diejenige *Peschels,* allein sein Resultat befriedigte trotz vieler scharfsinniger Einzelbemerkungen nur wenig, weil nun einmal dem *biologischen Prinzipe,* mit dem er hier, wie auch bei den Seen (S. 468), vorwiegend operirte, keine überzeugende Kraft innewohnt. Weit besser entsprachen den Thatsachen die auf geographisch-geologische Kriterien sich stützenden Einteilungen *Kirchhoffs* und *v. Richthofens*, und bald nachher veröffentlichte *Hahn* seine Systematik, welche als die beste für diesen Teil der physikalischen Erdkunde existierende Leistung allgemein und auch von denen anerkannt wird, welche über manche Punkte anders denken [2]). Mit Berücksichtigung aller dieser Arbeiten gelangen wir zu der im folgenden durchgeführten Einreihung aller Meeresinseln in Gruppen.

Ein grosser Teil der in geringer Entfernung von den Küsten

erwähnt, gibt es ein nicht allzu schmales Band längs der Küste, welches zweimal täglich von der Flut bedeckt wird, zur Ebbezeit dagegen begehbar ist (S. 424). — X. *Westbaltischer* oder *Bodden-Typus.* Derselbe ist von *Penck* der Küstentafel eingefügt worden, mit Rücksicht darauf, dass die vorpommerisch-mecklenburgischen Buchten, morphologisch betrachtet, eine Sonderstellung einnehmen als „breite, unregelmässig verästelte, förmlich zerlappte Busen" (man denke an die bizarre Küstengliederung der Insel Rügen). — XI. *Föhrden-* oder *nordalbingischer Typus*, für eine mehr flache Küste das Seitenstück der ostschottischen Form (s. o.). — XII. *Ostbaltischer* oder *Haff-Typus* (Stettiner, Frisches, Kurisches Haff).

[1]) *Krümmel* hat den Anfang mit der Unterordnung der Seehäfen unter morphologische Gesichtspunkte gemacht und unterscheidet *Einbruchshäfen, Fluss- oder Mündungshäfen* und *Verbauungshäfen.* Weit mehr ins Individuelle geht *v. Richthofens* Klassifikation ein (Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886. S. 317 ff.).

[2]) *F. G. Hahn,* Inselstudien; Versuch einer auf orographische und geologische Verhältnisse gegründeten Einteilung der Inseln, Leipzig 1883. Der schwerstwiegende Einwurf gegen die feinsinnige Gruppenbildung ward von *Penck* gemacht und gipfelt darin, dass mehrere der von *Hahn* als „Erosionsinseln" bezeichneten Inseln diese ihre Eigenschaft nicht dauernd behaupten, nämlich nur so lange, als die Niveaulinie nicht eine umgekehrte Richtung der Verschiebung erhält.

eines Kontinentes gelegenen Inseln sind *Festlandsbruchstücke,* d. h. Anhängsel des Festlandes, welche erst in junger geologischer Vorzeit oder erst in geschichtlicher Zeit von jenem auf dynamischem Wege losgetrennt worden sind. Die Brandung, Sturmfluten, Erdbeben, Erosion der Meeres- und Gezeitenströmungen, Hebung des Meeres sind die Agentien, welche eine solche Ablösung bewirkt haben können. So gehörten, wie wir wissen, die friesischen Inseln einst zum deutschen Festlande (S. 423), so ist die Gesamtheit der Kykladen und Sporaden im Archipelagus nur noch ein Ueberrest der Landbrücke, welche noch im Pliozänzeitalter Griechenland und Kleinasien mit einander verband. Aus blosser Betrachtung der Karte lässt sich übrigens ein Schluss auf den Inselcharakter nicht ziehen; selbst von Zeylon ist es sehr ungewiss, ob wir es als einen zu Hindostan gehörigen Landsplitter betrachten dürfen, und Madagaskar, von Afrika nur durch die Enge von Mosambique getrennt, hatte mit diesem Weltteile niemals irgendwelche Gemeinsamkeit [1]).

Diesen *Festlandsinseln* stehen die eigentlichen *Hochseeinseln* gegenüber. Dieselben sind durchweg das Ergebnis einer *Erhebung* oder *Aufschüttung.* Durch vulkanische Kräfte kann ein Teil des Meeresgrundes über den Wasserspiegel gehoben werden — Insel Ferdinandea (S. 150); Neubildungen im Zirkus von Santorin (S. 144) — oder es entsteht eine Vulkaninsel auch in der Weise, dass ein submariner Krater einen Aufschüttungskegel bis über jene Fläche hinaus anwachsen lässt. Vulkanische Inseln finden sich hauptsächlich im Indischen Ozeane und in der Südsee zahlreich (Vulkanruine St. Paul). Durch Anhäufung von Schlamm und Detritus auf seichten Stellen des Seebodens bilden sich *Anschwemmungsinseln.* Solche können auch einen *phytogenen* Ursprung haben, d. h. es können im Wasser Pflanzen sich befinden, die an einem bestimmten Punkte sich anheften und nun, indem sich Sedimente und anderweite pflanzliche wie tierische Stoffe daran konzentrieren, einen Ansatzkern für eigentliche Inselbildung abgeben. Die *Mangrove-Sümpfe* der tropischen Küsten wirken in diesem Sinne; ihre Früchte fallen ins Wasser, werden von ihm fortgetrieben und bleiben im Schlamme stecken, worauf sie Wurzeln schlagen und alles in ihren Bereich Kommende festhalten. Die *Everglades* an der Südspitze von Florida sind nach *Ratzel* in dieser Weise entstanden, obwohl Korallen dann den weiteren Ausbau übernommen haben. Im Sunda-Meere fördert, den Berichten *v. Lehnerts* zufolge, die *Nipa-Palme* ganz analog die Landbildung.

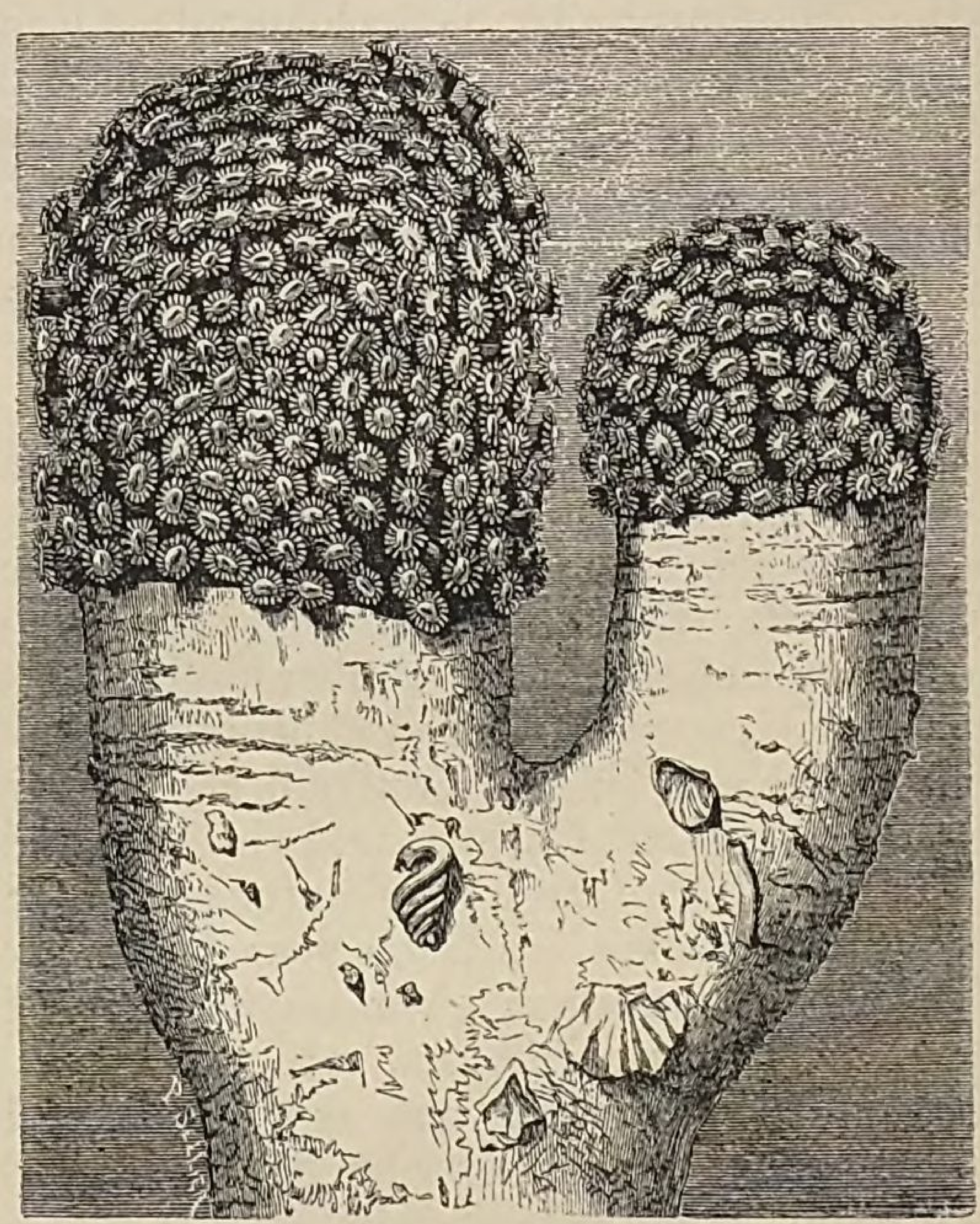
Von grösserer Wichtigkeit sind jedoch die Inseln *zoogenen* Ursprunges, die *Korallenbauten.* Im Atlantischen Meere nur spär-

[1]) Die Fauna und Flora der grossen Insel weisen übereinstimmend hinüber nach Hinterindien, und so verfehlt es wäre (s. o.), bloss diese Verteilung der Organismen zum Masstabe zu nehmen, so ist doch soviel gewiss, dass das ganz durchgreifende Fehlen echt afrikanischer Typen kein Werk des Zufalles sein kann. Von dem hypothetischen, westlich mit Madagaskar endigenden Kontinente Lemuria wurde bereits früher (S. 96) gesprochen.

lich [1]), in den Polarmeeren gar nicht, dafür aber in den beiden anderen Ozeanen in überraschendster Menge und Vielgestaltigkeit vorkommend, erheischen dieselben eine selbständige Erörterung.

Die *Korallenpolypen* gehören zoologisch zu dem grösseren Formenkreise der *Zoantharien* oder *Pflanzentiere* [2]); es fehlt ihnen die Eigenschaft der Lokomobilität, sie sind im eigentlichsten Sinne an die Scholle gefesselt, so dass es kein Wunder ist, wenn wir durch

Fig. 166.



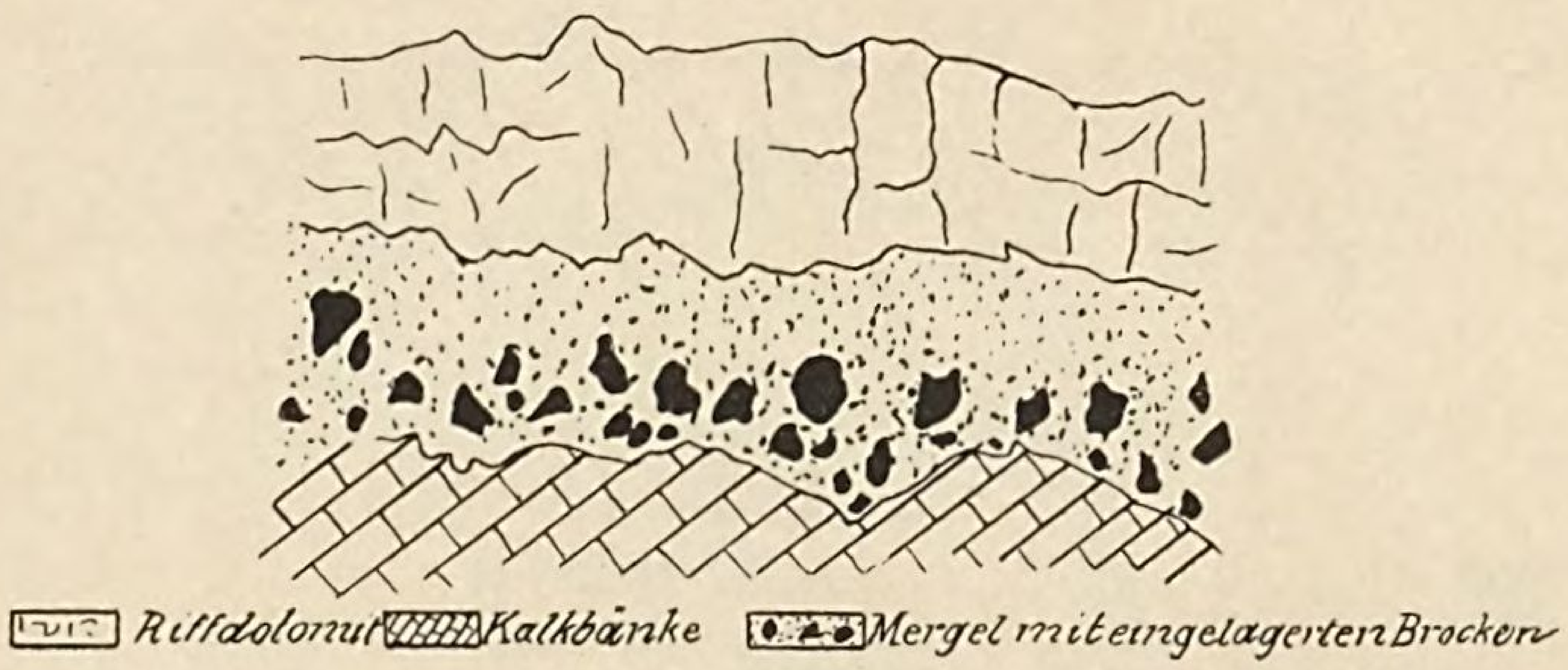
Jahrhunderte ihre wahre Natur verkannt und sie erst von *Peyssonel* und *Trembley* (erste Hälfte des XVIII. Jahrhunderts) in das Tierreich versetzt finden. Nur ausnahmsweise sind die Korallen Einzeltiere, während sie der Regel nach in Form eines *Polypenstockes,* einer aus zahllosen Individuen sich zusammensetzenden *Korallenkolonie* auftreten (s. den zweiästigen Stock von *Goniopora columna* in *Fig. 166*, dessen unterer Teil abgestorben ist und nun verschiedenen Schaltieren zum Wohnplatze dient). Bei fast allen Polypen

[1]) Die *Bermudas-* und einige der *Bahamas-Inseln* kommen für den Atlantik allein in betracht.

[2]) Ehemals rechnete man in diesen Formenkreis auch die *Bryozoën* oder *Mooskorällchen*, deren überaus zierliche Gebäude einen nicht unbeträchtlichen Beitrag zu den paläozoischen Bergen des Thüringerwaldes geliefert haben; diese Riffe hat *Liebe* näher untersucht und beschrieben. Heute aber weiss man, dass die Bryozoen sich auf einer weit höheren Stufe tierischer Entwicklung befinden, als die eigentlichen Korallen.

entwickelt sich in der mittleren oder äusseren Schicht ihrer Haut eine *chitinöse* oder *kalkige*, seltener *kieselige* Absonderung, und diese durchdringt allmählich den ganzen Körper eines jeden Tieres. Von den drei Unterordnungen der Zoantharien sind die *Actinaria* ganz ohne Hartgebilde, die *Antipatharia* weisen nur einen von den weich gebliebenen Tieren umgebenen Hornstock auf, und die uns hier allein interesssierenden *Madreporia*, die eigentlichen *Korallenriffbildner*, verkalken vollständig. Die Kalkmasse, welche die Einzeltierchen am Stocke mit einander verbindet, ist als *Koenenchym* (κοινός, gemeinsam; ἐγχύμωμα, Verteilung der Säfte durch den ganzen Körper) bekannt. Den Korallenpolypen hat die Natur eine zwiefache Befähigung zur Fortpflanzung verliehen; letztere kann auf geschlechtlichem Wege erfolgen, doch wiegt die Vermehrung durch Teilung und Sprossung entschieden vor. Ansiedlung einer

Fig. 167.



neuen Kolonie auf einer noch blühenden alten ist eine Seltenheit, und im allgemeinen muss ein Stock bereits abgestorben sein, bis er durch eine Neu-Besiedlung wieder zum Leben erwachen kann.

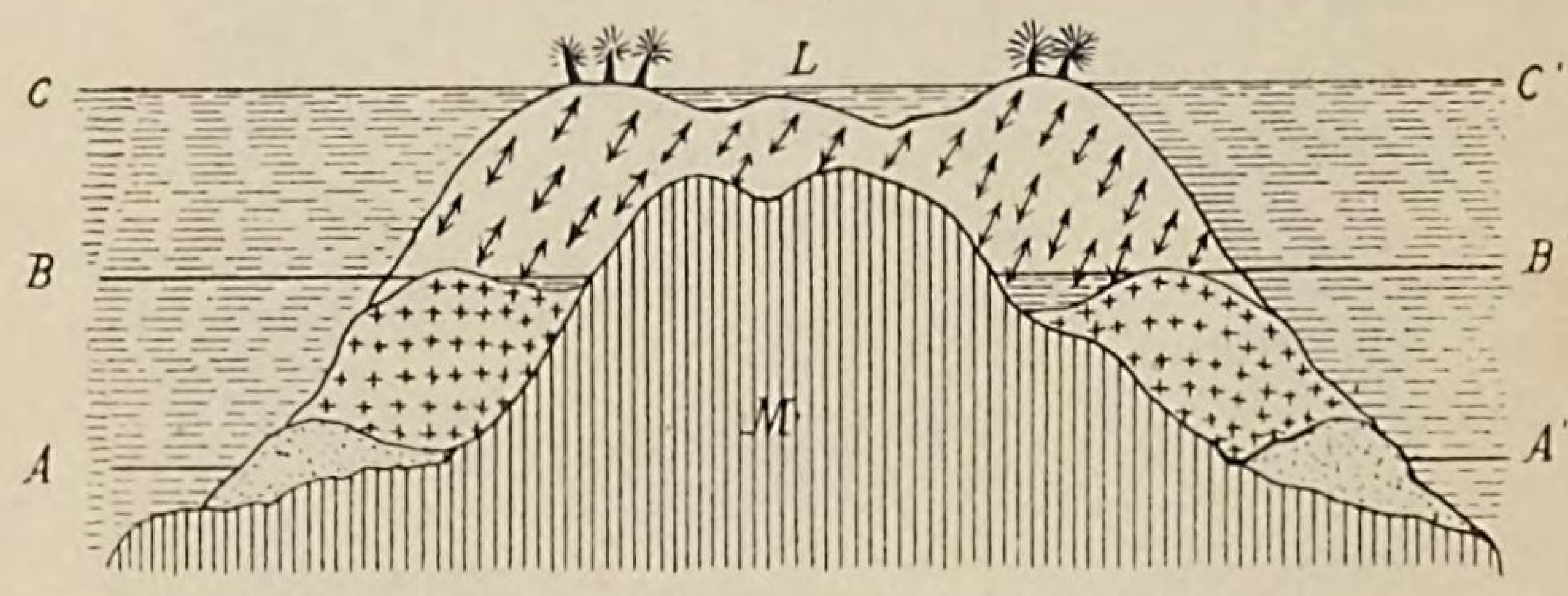
Die Voraussetzungen, unter denen allein Korallentiere gedeihen können, sind sehr mannigfaltig. Süsses Wasser ist ihnen unerträglich, und auch der Salzgehalt des Meeres scheint ihr Gedeihen zu beeinflussen. Ebenso ist ihnen das Leben in freier Luft versagt, und jeder Korallenstock geht sofort zu grunde, wenn er bis zur Wasserfläche gelangt ist; aber auch grössere Tiefen sind ihnen einfürallemal verschlossen. Leichte Strömungen sind das Erfordernis, dass die Tiere mit ihrem Tentakelkranze die ihnen zugeführte Nahrung ergreifen können, und gleicherweise muss zu diesem Zwecke die See hell und klar sein. Man darf annehmen, dass diese Lebensbedingungen der Anthozoen sich seit den ersten Zeiten der Erdgeschichte nicht namhaft geändert haben [1]).

[1]) Schon im silurischen Zeitalter (S. 88) begegnen uns Korallen, und in der Triasperiode haben dieselben, wie wir sahen (S. 91), nach der Ansicht vieler Geologen die gewaltigen Dolomitriffe der Südalpen erbaut. An den Küsten der sinaitischen Halbinsel hat *Walther* die fossilen Korallenbauten studiert und daselbst die zu *Murrays* Theorie der Saumriffe gut stimmende Wahrnehmung gemacht, dass der Riffdolomit (s. das Profil in *Fig. 167*) zunächst auf einer Mergelschicht, und dass erst diese auf festem Felsuntergrunde aufruht.

Morphographisch unterscheidet man *drei Arten* von Korallenbauten. Hart an der Küste findet man vielfach die deren Verlauf begleitenden *Saumriffe;* weiter draussen im Meere strecken sich vor manchen Küsten, z. B. der westlichen Küste von Australien, die langen, der Schiffahrt gefährlichen *Barrièrenriffe* hin, und die pelagischen Inseln dieser Gattung, die *Atolle,* stellen einen nahe kreisförmigen Kranz aus kalkiger Korallensubstanz dar, in deren Inneren sich meistens eine Lagune, ein im Prozesse der Aussüssung begriffener Salzwassersee befindet.

Die erste diesen Namen verdienende *Theorie der Riffbildung* [1]) wandte in den dreissiger Jahren *Ch. Darwin,* nachdem er als Mitglied der „Beagle"-Expedition zahlreiche Koralleninseln kennen gelernt hatte, wesentlich auf die Atolle an, doch glaubte er darthun

Fig. 168.



Meeresgrund — M · unterseeischer Hügel

Älteste Korallenbauten — Korallenbauten des 2. Zeitraums

Rezente Korallenbauten

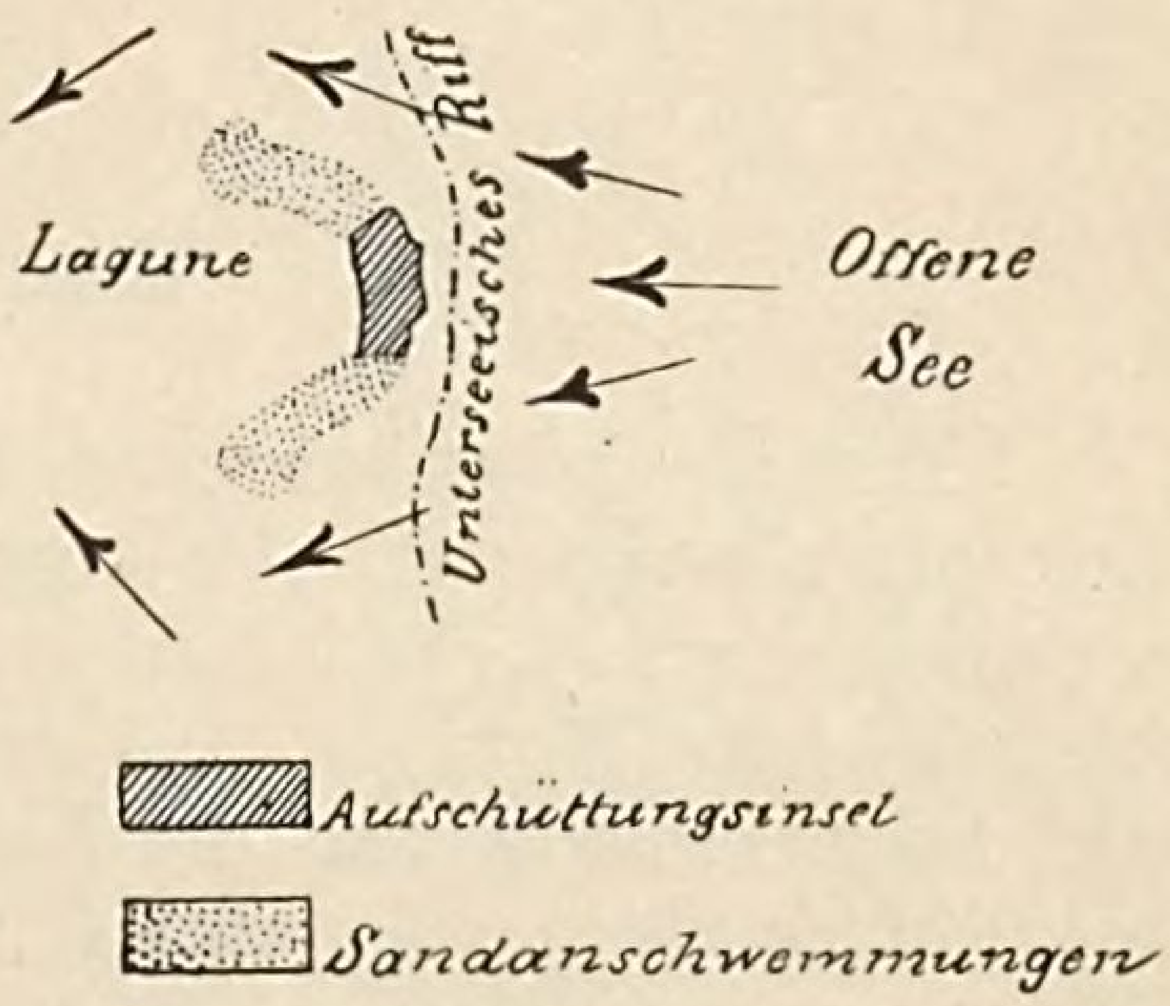
zu können, dass die Saum- und Barrièrenriffe nur verschiedene Stadien der nämlichen Entwicklungsreihe seien. *Darwins* oberster Grundsatz ist der, *dass an der Stelle, welche durch rezente Korallenbauten gekennzeichnet ist, eine Senkung des Meeresbodens stattgefunden haben muss.* Dann waren die Vorgänge, welche *Fig. 168* anschaulich macht. Ursprünglich war AA' das Meeresniveau, welches in zwei Absätzen zuerst bis BB' und nachher bis CC' stieg. Ein jetzt unterseeischer Hügel M diente der architektonischen Arbeit der Polypen als erste Baustelle, an der sie ihre Strandriffe anlegten. Diese wurden nach der ersten Hebung des Wasserspiegels bedeutend verstärkt, sie wuchsen um die Kuppe M ganz herum, und es haben sich in jenem Stadium bereits die Ansätze zu einer ersten Lagune herausgebildet. Nachdem das Niveau abermals erhöht worden war, setzten die Tiere den Bau fort und führten ihn, soweit sie konnten,

[1]) Da die ungemein verzweigte Litteratur sich nur sehr schwer übersehen lässt, so sei auf ein die Orientierung möglichst erleichterndes und den Gegenstand selbst kritisch beleuchtendes Schriftchen von *Langenbeck* verwiesen (Die Theorien über die Entstehung der Koralleninseln und Korallenriffe, Leipzig 1890).

nämlich bis zur Berührung mit der Luft. Die Lagune *L* kam dann dadurch zustande, dass entweder wieder eine schwache Hebung des Meeresgrundes eintrat[1]), oder es sammelten sich Muscheln, Algen und Detritusmassen auf der Oberfläche der Korallenstöcke an, wodurch in langen Zeiträumen eine peripherische Erhebung des Landes über die Wasserlinie herbeigeführt wurde.

Diese *Darwin*sche *Senkungstheorie* ist von *Semper, Agassiz, Rein, Studer, Murray* und *Guppy* bekämpft worden. Der erstere stellte fest, dass in den hinterindisch - melanesischen Meeren alle drei Arten von Riffen ganz gleichberechtigt in dem gleichen Horizonte auftraten, so dass also nicht wohl die eine Art nur die *rudimentäre Form* einer anderen sein kann, und *Rein* glaubte sich versichert halten zu dürfen, dass die von ihm genau erforschten Bermudas nicht in einem Senkungs-, sondern umgekehrt in einem Hebungsgebiete gelegen seien. Nach *Murray* setzen sich die Polypen überhaupt auf submarinen Erhebungen fest, welche zumeist vulkanischen Ursprunges sein mögen. Entweder reichen diese Berge an sich schon in jene Tiefenzone hinein, an welche die Riffbildner (s. o.) gebunden sind, oder tierische Ablagerungen verschaffen ihnen den hierzu erforderlichen Zusatz. Sobald dann die nötige Höhe erreicht ist, siedeln sich die Korallen an, und die Atollgestalt ergibt sich von selbst infolge reichlicherer Ernährung des Aussenrandes, während die Längsriffe sich blos auf vulkanischem Schlamme und Sedimenten erheben sollen. *Guppy* behauptet noch entschiedener, eine *Hebung* sei das unumgängliche Bedingnis eines Korallengebäudes; wie aus einer Aufschüttungsinsel hinter einem Riffe durch Anschwemmung allmählich eine Ringinsel mit Lagune entstehen könne, dies erläutert *Fig. 169.*

Fig. 169.



Eine allen Einzelfragen gerecht werdende Würdigung dieser Hypothesen ist an diesem Orte nicht möglich, doch soll nicht unerwähnt bleiben, dass die alte *Darwin*sche Lehre, zu der sich von je her auch der berühmte amerikanische Geologe *Dana* bekannte, neuerdings von verschiedenen Forschern, so von *Issel, Henrich* und *Langenbeck* als die mit den Thatsachen am besten übereinstimmende erklärt worden ist, und dass sich diesem Urteile auch, mit besonderer Rücksicht auf die fossilen Riffe, *Suess* und *Neumayr* angeschlossen haben. Angesichts jedoch der ungeheuren Vielseitigkeit der Mittel, über welche die Natur gebietet, können wir uns des

[1]) Die Bezeichnungen von S. 469 angewandt, hätten wir also in diesem Falle einen Erhebungssee, in dem unmittelbar nachfolgenden Falle eine neue Modalität der Abschnürungsseen.

Argwohnes, dass eine bestimmte Hypothese doch immer nur bestimmten Einzelfällen angepasst sein und schwerlich alle Möglichkeiten erschöpfen könne, vorläufig nicht erwehren, und so sehen wir keinen Grund, die These, in welcher wir früher [1]) die Theorie der Korallenriffbildung zusammenfassten, abzuändern. Sie mag lauten: *Korallenriffe und Atolle können sich überall da bilden, wo die Lebensbedingungen für die riffbildenden Korallen gegeben sind, und wo eine vom Meeresspiegel nicht allzu entfernte Basis für die Ansiedlung der Tiere vorhanden ist, mag jene nun eine anfänglich in geringerer Tiefe befindliche Kuppe gewesen und erst durch Senkung des Meeresgrundes tiefer hinab gelangt sein, oder mag eine unterseeische Bodenerhebung, sei es durch vulkanische Kräfte, sei es durch organogene Aufschüttung, die den Polypen angewiesene Tiefenzone erreicht haben.*

Schlusswort.

Die der physikalischen Geographie zu stellende Aufgabe darf nunmehr als innerhalb der bescheidenen Grenzen, welche wir uns von vornherein zu stecken hatten, gelöst angesehen werden. Von der Analogie der Erde mit anderen Himmelskörpern ausgehend, lernten wir deren Gestalt und die Kräfte kennen, durch welche sie sich als kosmischer Körper bethätigt; wir suchten uns nach Möglichkeit ein Bild von ihrer inneren Beschaffenheit zu machen, zerlegten ihre Rinde und suchten zu ermitteln, durch welche Kraftäusserungen sie ihren normalen Zusammenhang verlor, welche Agentien noch stets beschäftigt sind, Störungen hervorzurufen. Von den magnetisch-elektrischen Kräften leitete hierauf das Polarlicht zur Atmosphäre über, an deren Betrachtung sich diejenige der Hydrosphäre — und zwar des salzigen, des süssen und des in den festen Aggregatzustand übergegangenen Wassers — naturgemäss anreihte. So waren die Hilfsmittel gewonnen, um unter allgemeinen Gesichtspunkten die Veränderungen untersuchen zu können, welche die Oberfläche unseres Planeten im Laufe der Zeiten erfahren hat und noch erfährt, und mit der Inselbildung erledigt sich auch dieses Problem: zwar nicht, wie ab und zu angedeutet wird, das einzige, wohl aber das *grossartigste*, von sämtlichen Teilen der ganzen Disziplin getragene *Problem der physikalischen Erdkunde.*

[1]) *Günther*, Geophysik, 2. Band. S. 494.

Namen-Index.

A.

Abercromby 296.
Abich 151. 402.
Abildgaard 411.
Abney 253.
Ackermann 429.
Adhémar 394.
Aepinus 65.
Agassiz 279. 381. 383. 391. 483. 499.
Agricola 74. 75. 135.
Aimé 295. 301. 315.
Airy 37. 295. 311. 312.
Aitken 213. 216. 221.
Albirûnî 131.
Alhazen 214. 231.
Allan Broun 194.
Al Mamûn 22.
Amageat 58.
Amsler-Laffon 360.
Ampère 153.
Anaxagoras 235.
Anaximander 172.
Andrade Corvo 195.
Andrews 58.
Andries 202. 222. 224. 313. 314.
Angot 253. 254.
Ångström 8. 209.
Apian 183.
Appelberg 362.
Arago 11. 223. 225. 227. 262. 270.
Archimedes 285. 291.
Aristoteles 20. 171. 172. 212. 230. 231. 302. 303. 308.
Arrhenius 222.
Assmann 213. 221. 243. 263. 364. 365. 404.
v. Asten 7.
Atkinson 253.
Augustus 81.

B.

Baader 321.
Babinet 227. 229.
Bache 279.
Bacon (Roger) 232.
v. Bär 318. 326. 419. 420. 463.
Baily 40.
Baines 420.
Balfour Stewart 234.
Baltzer 117. 412. 467.
Barlowe 183.
Barnard 55.
Barrande 87. 92.
Battelli 479.
v. Bauernfeind 225. 240.
Bauschinger 62.
Bayberger 328. 489.
van Bebber 218. 241. 249.
Becker 466.
Beda Venerabilis 172. 174. 308.
Beetz 282.
Behm 272.
Belgrand 366.
Beneš 444.
Berendt 416. 487. 488.
Berger 303.
Berghaus 262. 313. 315.
Bergman 126. 350.
Bernoulli, Dan. 180. 188. 299. 308.
Bernoulli, Jak. 218.
Bertelli 160. 162. 183.
Bessel 27. 37. 225.
Bessels 130. 280. 318. 459.
Beyrich 81. 94.
v. Bezold 219. 224. 228. 239. 244.
Bezzenberger 488.
Bieber 334.
Billwiller 236. 263.
Biot 230.
Bischof 85. 141. 154. 455.
Bishop 218. 229.
Blaas 483. 485.
Black 211.
Blancanus 274.
Blanford 89. 97. 264.
Blümcke 422. 423.
Blunt (Lady) 314.
Blytt 270. 334.
Boas 282.
Böhm 422. 440. 444. 487.
Börgen 311. 312.
Börnstein 244. 245.
Börsch 277.
v. Boguslawski 283. 284.
Boll 487.
Borda 192.
v. Born 81.
Bouguer 25. 367.
Bourguet 453.
Boussinesq 357. 445.
Boussingault 50. 263.
Bouthillier de Beaumont 489.
Bouvard 234.
Boyd Dawkins 341.
Boyle 58. 240.
Brahe (Tycho) 17.
Brandes 239.
Brauer 313. 314.
Braun 15.
Brauns 53. 129.
Bravais 205. 209. 210.
Bredichin 11.
Bréguet 34.
Breislak 129.
Breusing 184. 313.
Brewster 227.
Brogniart 421.
Brooke 278.
Brucker 364.
Brückner 262. 271. 338.

390. 391. 393. 394. 463. 484. 487.
Brugmans 189.
Brun 449.
Bruncona 307.
Bruns 16. 29.
Buache 125. 277.
v. Buch 73. 81. 85. 90. 92. 101. 103. 129. 133. 148. 155. 173. 483.
Buchanan 275. 285. 286. 324. 383. 386. 408. 419.
Buchner 408.
Buffham 14.
Buffon 453.
Bunsen 6. 9. 282. 350. 351. 352.
Burnes 170.
Busch 216. 227. 229.
Buys-Ballot 239. 240.

C.

Cecchi 266.
Celsius 127.
Chambers 128.
Charpentier 374. 385. 388. 483. 486.
Chavanne 435.
Chisholm 418.
Chydenius 127.
Clairaut 25. 26. 48.
Classen 366.
Clarke 27.
Clerke (Miss) 15.
Clesius 346.
Coaz 372. 374.
Columbus 183. 281. 314. 315.
Columella 251.
Comoy 314. 366.
Cook 205. 293.
Coppernicus 1.
Cordier 53. 103.
Coulomb 221.
Couston 374.
Credner 303. 469. 470. 492. 493.
Croll 323. 395.
Crova 253.
Cusa, Nikolaus von 274.
Cuvier 81. 83.
v. Czerny 415.
v. Czörnig 463.

D.

Dade 234.
Dahlander 49.
Dall 396.
Dames 82.
Dana 94. 103. 147. 156. 157. 366. 420. 431. 458. 499.
Dante Alighieri 335. 466.
Danti 233.
Darwin, Ch. 82. 406. 490. 499
Darwin, G. H. 14. 33. 43. 53. 56. 295. 310. 311. 419.
Daubrée 4. 5. 6. 62. 86. 104. 107. 111. 157. 336. 349. 350. 363. 448. 449.
Davenport 306.
Davis 470.
De Ball 57.
De Castro 195.
Dechales (Milliet) 24.
Dechevrens 233.
De Dominis 222.
De Fontancourt 183.
De la Condamine 25. 313.
De la Noë 449.
De la Rive 210.
Dellmann 221.
Del Nero 150.
Deluc 399.
De Margerie 107. 449. 473.
De Maricourt („Petrus Adsigerius“) 182.
De Mortillet 421.
De Rossi 145.
Descartes 232.
Desmarest 365.
Desor 342. 374. 383. 456.
Dicuil 306.
Diels 303.
Diener 440.
Dietrich 188.
Dinklage 318. 323.
Dittmar 285.
Divisch 224.
Dölter 151.
Dolomieu 66.
D'Orbigny 81.
Dove, H. W. 238.
Dove, K. 268.
Drasche 65.
v. Drieberg 276.
Drobisch 37.
Drude 251. 332.
v. Drygalski 50. 397. 486.
Dufour 21. 328. 373.
Dunker 449.
Duperrey 198. 318.
Durocher 283.
Dutton 156. 452.

E.

Ebermayer 214. 262. 263. 334. 336.
Ebert 142.
Eck 168.
Edlund 210.
Ehrenburg 451.
v. Eichwald 346.
Ekholm 218.
Ekman 285. 321.
Élie de Beaumont 101. 125. 295.
Elliot 234.
Elster 222.
Emin Pascha 224. 267. 333.
Encke 7.
Endriss 471.
Engler 77.
Eratosthenes 22.
Erk 243. 251. 389.
Erman 222. 369.
Erray 484.
Eschenhagen 160.
Escher 402.
v. Ettingshausen 485.
Euler 199. 308.
Exner 222. 223. 226. 285.
Eytelwein 361. 362.

F.

Faber 63.
Falb 145. 155. 159. 173.
Falsan 398.
Faraday 58. 210. 292.
Farquharson 209.
Favre 103. 104.
Faye 14. 30.
Fehling 342.
Felix 140. 141. 378.
Fernel 22.
Ferrari 223. 244.
Ferrel 220. 237. 242.
Filipow 271.
Finsterwalder 383. 388. 422. 423. 442. 443. 444.
Fischer, H. 256.
Fischer, Ph. 28. 44.
Fischer, Th. 270. 301.
Fizeau 18.
Flammarion 18. 240.
Fleischer 232.
Fleurieu 273.
Flurl 91.
Förstemann 176.
Förster 15.
Folie 57.
Fontès 420.
Forbes 256. 385.
Forchhammer 283.
Forel 21. 302. 328. 330. 331. 355. 362. 381. 382. 383. 385. 388. 390. 418. 419.

Forster, A. 14.
Forster, R. 205. 282. 293. 494.
Fouqué 353.
Fournet 345.
Fournier 308.
Fox 178.
Fraas 91. 405.
Frank 360. 362.
Franklin 58. 224. 297. 316.
Fraunhofer 8.
Freiesleben 176.
Freshfield 422.
v. Frey 389.
v. Fritsch 63. 65. 69. 71. 85. 100. 174. 299. 326. 402. 417. 467.
Fritz 51. 208. 365.
Frölich 253.
Frost 363.
Fuchs 153.
Füchsel 79.
Fugger 356. 398. 399. 487.
Fusinieri 221.

G.

Galbraith 176. 177.
Galilei 348.
Galle 233.
Galton 239.
Gamauf 58.
Gassendi 60.
Gauss 13. 36. 192. 195. 199. 200. 202. 204.
Gautier 194.
Gay-Lussac 205.
Geiger 440.
Geikie 327. 431.
Geinitz 131. 487.
Geissler 288.
Geistbeck 328. 329. 364.
Geitel 222.
Gerland, E. 222.
Gerland, G. 487.
Gersten 221.
Gessner 205.
Gilbert, K. 295. 394. 420. 425. 449.
Gilbert, W. 176.
Gintl 288.
Gioja, Flavio 184.
Gladstone 227.
Glaisher 227.
Glasenapp 56.
Goethe, W. v. 129. 150. 226.
Götz 262.
Graham 181.
Gravé 337. 338. 399.
Gravelius 279.
Grebenau 262.
Gregor von Nyssa 12.
Gressly 82.
Grisebach 332. 333.
Gruber 333. 340. 415. 417.
Grunert 218.
v. Gümbel 81. 82. 85. 87. 141. 151. 174. 281. 452. 455. 460. 487.
Günther 471. 500.
Guettard 71.
Güssfeldt 153. 177. 377. 378. 387. 438.
Guglielmini 361.
Guiot de Provins 183.
Guldberg 245.
Gumprecht 463.
Guppy 363. 499.
Gurief 142.

H.

Haas 426. 461.
Haast 152. 380.
Habenicht 155.
Hadley 238.
Häckel 279.
Hållström 307. 369.
v. Härdtl 7.
Hagen, B. 147.
Hagen, G. H. L. 295. 298. 299. 365.
Hagenbach 291. 381.
Hagström 218.
Hahn 130. 425. 493. 494.
v. Hahn 358.
Hall, A. 56.
Hall, F. C. 396.
Hall, J. 104.
Halley 195. 240. 281.
Hamilton 131. 160. 242.
Hammer 168. 172.
Handel 231.
Hanke 474.
Hann 30. 236. 243. 247. 249. 256. 258. 263. 336.
Hansen 428.
Hansteen 199.
Harlacher 361.
Harrington 243.
Hartmann 188.
Hartung 151. 448. 466.
Hartwig 16.
Harz 77.
Haughton 37. 321.
Hauy 72.
Hayden 119. 348. 455.
Hayes 255. 292. 396.
Hector 152.
Heer 269. 326. 402.
Heiderich 435. 442.
Heim, A. 84. 103. 107. 115. 117. 120. 123. 124. 126. 168. 233. 375. 376. 378. 381. 382. 386. 392. 397. 402. 405. 411. 412. 416. 422. 449. 452. 457. 465. 466. 468. 487.
Heim, J. L. 453.
Helland 385.
Helmersen 411.
Helmert 29. 43. 44. 49. 50.
Helmholtz, H. 202. 216. 242. 383.
Helmholtz, R. 216.
Henessy 55.
Hengler 32.
Henrich 53. 352. 499.
Hensen 279. 280.
Henwood 178.
Hergesell, H. 49. 50. 383.
Hergesell, W. 50.
Herodot 303. 307.
Herschel, A. 209.
Herschel, J. 323.
Hertz 219. 372.
Hertzer 364.
Hesiod 251.
Hess 360.
Hettner 111. 413. 448.
v. Heuglin 177. 379.
Hjärne 127.
Hilber 434. 456.
Hildebrandsson 238. 250.
Hildenbrand 364.
Hill 55.
Hiller 140.
Hippokrates 255.
Hirschberg 147. 320. 347. 348.
v. Hochstetter 152. 341. 349. 439.
Höfer, E. 174.
Höfer, H. 77.
Hörnes 478.
Hörnlimann 418.
v. Hoff 460.
Hoffmann, F. 252.
Hoffmann, P. 306. 319. 324.
Hollmann 169.
Honsell 260. 366.
Hooke 275.
Hopfgarter 276.
Hopkins 55. 57. 156.
Hoppe 222.
Hornstein 194.
Howard 216. 218.
Hübler 421.
Huggins 7. 10.
Hugi 371. 381.
Hull 204. 468.

Hult 290.
v. Humboldt 30. 70. 72. 85. 101. 103. 141. 144. 155. 161. 173. 176. 192. 193. 199. 210. 225. 227. 249. 282. 319. 358. 367. 368. 402. 406. 434. 435. 440. 441.
Hutton 31. 36. 37. 86. 104. 453.
Huxley 280.
Huygens 23. 25. 26.
Huyssen 53.

I. J.

Jacobi 27.
Jacobsen 284.
Jacques de Vitry 183.
Jakobi 450.
Jamin 58.
Janeček 154. 172.
Janssen 10. 227.
Ibn Haitham 214. 231.
Ibn Khaldoun 344.
Ideler 270.
Jensen 397.
Jentzsch 333.
Jesse 215.
Ihne 252.
v. Jolly 38. 39. 41. 328.
Jordan 248.
Issel 34. 419. 499.
Junghuhn 260.
Junker 332. 333. 335.
Jurine 230.

K.

Kästner 342.
Kaiser 17.
Kaltbrunner 344.
Kandler 463.
Kane 130. 291. 396.
Kant 12. 13. 15. 16. 54. 58. 66. 238.
Karl der Grosse 447.
Karsten, D. L. G. 91.
Karsten, G. 285.
Keilhack 487.
Keller 32. 176.
Kepler 13. 17. 22. 23. 183. 219. 309. 321.
Kerhallet 319.
Kerz 14.
Kick 124.
Kjerulf 430. 448. 470.
Kiessling 228. 229.
Kinahan 295.
Kinkelin 450.
Kirch 205.
Kircher 153. 195. 314.
Kirchhoff, A. 494.
Kirchhoff, G. 6. 9.
Klaproth 183.
Klein 19.
Kleinschmidt 209.
Klengel 367.
Klocke 381. 383.
v. Klöden 328.
Klönne 306.
Klossowsky 220.
Knoos 420.
Knop 359.
Knox 306.
Kobelt 320.
Koch 383.
König 39.
Köppen 218. 233. 247. 265. 271. 420.
Kohl 426.
v. Konkoly 11.
Koppe 383.
Kořistka 444.
Kosmas Indikopleustes 21.
v. Kotzebue 282.
Kraus 477. 478.
Krüger 342.
Krümmel 273. 279. 281. 285. 289. 296. 298. 302. 312. 313. 314. 315. 316. 324. 364. 425. 435. 456. 494.
v. Krusenstern 282.
Küstner 56.
Kuntze 281.
Kupffer 205.
Kurowski 443.

L.

Lagorio 146.
Lamarck 453.
Lambert 253.
Lamont 132. 178. 179. 184. 186. 188. 189. 194.
Lancaster 245.
Lang, C. 224. 244. 337. 389. 403.
Lang, O. 163. 340. 351. 484. 486.
Langenbeck 498. 499.
Langley 253.
Laplace 12. 13. 15. 16. 42. 54. 66. 215. 234. 240. 310. 435.
Lapparent 435.
Lartet 110.
v. Lasaulx 162. 430.
Láska 41.
Lassel 2.
Lasswitz 60.
Laugier 205.
Laval 366.
Lecchi 361.
Leconte 329. 449.
Legendre 42.
Lehmann, J. G. 179.
Lehmann, P. 131. 357. 490.
Lehmann, R. 427.
Lehmann-Filhès 57.
v. Lehnert 495.
Le Hontan 331.
Leibniz 12.
Leidenfrost 172.
Leipoldt 435.
Lemström 205. 206. 209. 210.
Lenk 140 141. 378.
Lentz 297.
Lenz 313. 408. 482.
Leppla 480.
Lepsius 454. 455. 456.
Lersch 343.
Leverrier 3.
Ley 217. 218.
Lichtenberg 58. 365.
Liebe 496.
Liebknecht 205.
Liebscher 286.
Linné 72. 127. 251.
Linsser 251. 252.
Lionardo da Vinci 81. 226. 321. 401.
Lipschitz 43.
Lister 81.
Listing 29.
Livingstone 332. 405.
Liznar 193. 194.
Lloyd 189.
Lodge 224.
v. Löffelholz 449.
Löwl 156. 418. 437. 439. 451. 455. 457. 464.
Lommel 8. 233.
Lorenz v. Liburnau 346. 352
Lossen 121.
Lottin 210.
Lubbock 310.
Ludmann 352.
Lueger 366.
Luksch 289. 311. 318.
Lundbohm 487.
Lyell 94. 129. 133. 170. 269. 401. 410. 418. 455.

M.

Mac Clure 293.
Mach 224.

Mackenzie 350.
Maclaurin 308.
Makarow 322.
Malaguti 283.
Mallet (englischer Geologe) 54. 162.
Mallet (Genfer Astronom) 191.
Malte Brun 272.
Mannesmann 124.
Marcano 406.
Marcuse 169.
Marek 34.
Marinelli 390.
Marinitsch 474.
Mariotte 58. 240. 336. 338.
Marius (Simon Mayr) 16.
Marno 447.
Marsh 92.
Marsigli, Graf von 322.
Martin 266.
Martins 270. 344. 374. 391. 486.
Martius 313. 314.
Mascart 34.
Maskelyne 31. 36. 37. 395.
Massudi 135.
Mauch 447.
Maupertuis 25.
Maurer 248.
Mauvais 205.
Maxwell 13.
v. Maydell 322.
Mayer 199. 369.
Medlicott 89. 455.
Meech 253.
Meissner 398.
Melanderhjelm 215.
Mellard Reade 295. 363.
Melloni 176. 177.
Melsens 224.
Melzi 160.
Mendenhall 37. 159.
Menzzer 199.
Meton 310.
Meyer, H. 243.
Meyer, H. A. 279. 285. 287.
Meyer, O. E. 205.
Meydenbauer 243. 378.
Miaulis 308.
Michelotti 361.
Mickwitz 426.
Middendorff 51. 332. 370. 447.
Millar 54.
Miller 7. 287. 289.
Milne 136. 413.
Minnigerode 166.
Minucius Felix 255.
Mitchell 39.
Moberg 252.
Mohn 245. 318. 321. 323.
Mohr 85.
Mohs 64.
v. Mojsisovics 91. 103. 478.
Mollweide 199.
Monaco, Erbprinz von 315.
Monteiro 408.
Montgolfier 345. 346.
Montigny 206. 225.
Morstadt 3.
Moseley 385.
Mottez 296.
Mousson 353.
Mühry 321.
Müller, C. F. 279.
Müller, Fr. 474.
Müller, J. 236.
Müntz 405. 406.
Munz 76.
Murchison 483.
Murray 289. 335. 497. 499.
Muschketow 151.

N.

Nagués 169.
Nansen 255. 318. 396.
Narducci 335.
Nares 293.
Nathorst 269.
Naumann 138. 176. 202. 203. 365.
Neckam 183.
Necker 174.
Negretti 288. 289.
Nehring 480. 483.
Neison 19.
Neumann 454.
Neumayer 199. 200. 218. 234. 287.
Neumayr 97. 115. 269. 387. 393. 434. 439. 499.
Newton 8. 25. 36. 37. 42. 232. 281. 304. 307. 308. 309.
Nies 54.
Nissen 358.
Niverow 256.
Noë 476.
Nordenankar 127. 133.
v. Nordenskiöld 5. 205. 206. 208. 209. 279. 290. 293. 332. 346. 347. 396. 397. 420.
Norton 10.
Norwood 22.
Nyrén 12. 57.

O.

Oberbeck 237. 242.
Oberhummer 476.
Obermayer 222.
Ochsenius 468.
Odin 384. 418.
v. Oettingen 252.
Oken 280.
Olbers 4.
Oldham 134. 422.
Omond 227.
Oppel 81.
v. Oppolzer 34. 35.
v. Orff 132.
Ovidius 142.

P.

Paganini 383.
Palisa 2.
Palissy 81.
Pallas 142.
Palmer 303.
Palmieri 144. 162. 202. 221. 222.
Pape 403.
Pâris 295. 296.
Parmenides 246.
Partsch 135. 141. 243. 270. 307. 322. 353. 454. 473. 476. 494.
Pascal 240.
Paschen 131.
Paulsen 209. 211. 243.
Pechuël-Lösche 209. 300. 356. 408. 409. 425.
Peltier 221. 222.
Penck 126. 129. 148. 391. 394. 400. 406. 419. 421. 434. 435. 436. 442. 444. 449. 452. 453. 455. 456. 457. 459. 466. 472. 483. 485. 487. 494.
Pennesi 145.
Perrey 145. 155. 173.
Perrotin 14.
Peschel 96. 133. 148. 326. 358. 430. 468. 469. 494.
Petermann 293.
Peters 311.
v. Pettenkofer 337. 338. 363.
Pettersen 293. 427.
Peucker 441.
Peyssonnel 274.
Pfaff 86. 104. 329. 383.
Pfeifer 420.
Pfeiffer 283.
Philippson 417. 445. 452. 453.
Photius 344.
Picot 270.
Pilar 86. 133. 157.

Pitot 360.
Planté 223. 225.
Plassmann 15.
Plateau 14.
Platon 303. 308.
Playfair 453.
Plenkers 79.
Plinius 86. 133. 157.
Plücker 210.
Poggendorff 33. 39. 193.
Poisson 1. 184.
Pollak 465. 467.
Pontoppidan 169.
Porro 383.
Porzio 150.
Pošepny 327.
Posidonius 22. 308.
Pouillet 253.
Poulett Scope 147.
Pourtalès 279.
Powell 417. 419. 455.
Poynting 38.
Prestel 218. 424.
Prestwich 157. 421.
Prshewalski 440.
Pruyssenaere 447.
Pühler 274.
Puff 324.
Pumpelly 473.
Pytheas 303. 308.

Q.

Quetelet 151. 205.
Quincke 202.

R.

Rabl 409.
Radau 43.
Rae 295. 364.
Ramond 402.
Ramsay 421. 431.
Rappold 270.
vom Rath 141. 172.
Ratzel 331. 358. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 390. 495.
Raulin 199.
Rausenberger 364.
Rayleigh 226.
Réaumur 54.
v. Rebeur-Paschwitz 490.
Reclus 345. 490.
Regnault 58.
Reich 39. 40. 178.
Rein 430.
Reinach 81.
Reis 365.
Reiter 436.
Reitz 303.
Rendu 385.
Rennell 318. 323.
Reyer 106. 141. 146. 155. 175. 477.
Reynolds 220. 295. 321.
Riccioli 218.
Riccò 215. 230.
Richardson 288.
Richarz 39. 41.
Richer 23.
Richieri 444.
Richter 367. 368. 378. 379. 384. 388. 389. 399.
v. Richthofen 91. 120. 121. 151. 404. 408. 410. 415. 427. 431. 437. 447. 452. 457. 458. 469. 470. 479. 480. 481. 482. 494.
Rigaud 272.
Rimrod 453.
Ristoro d'Arezzo 335.
Ritter, A. 14. 58. 59. 215.
Ritter, C. 493.
Robinson 233.
Robison 32.
Roche 199.
Rödel 464.
Rohde 394.
Rohlfs 481.
Romme 315.
Ronkar 57.
Rose 4.
Rosenbusch 66. 67. 146.
Rosetti 285.
Ross 153. 195. 197.
Roth, F. 59. 352.
Roth, J. 153. 403.
Rothpletz 415. 465. 473.
Roudaire 469.
Rowland 202.
Rucktäschel 420.
Rudolph 169. 171. 383.
Rücker 177.
Rüdemann 86.
Rütimeyer 385. 455.
Runeberg 334.
Russell 295. 298. 394.
Rutherford (Erfinder d. Extremthermometers) 247.
Rutherford (Spektralanalytiker) 7.
Rykatschew 250.

S.

Sabine 30. 194. 198.
Sacco 465.
Sacrobosco 21.
Safařik 11.
Saigey 30.
Sandler 131. 428.
Saporta 293. 395.
Sarasin 330. 331.
Saussure 205. 226. 367. 412.
Sauvageot 106.
Savart 227.
Saxo Grammaticus 347.
Schäfer 470.
Schaper 199.
Scheele 211.
Schering, E. 192.
Schering, K. 179. 192.
Scheuchzer 81. 385.
Schiaparelli 2. 3. 13. 17. 56. 134. 215.
Schilling 312.
Schimper 103.
v. Schlagintweit, A. und H. 226. 373. 383.
Schlichting 262.
Schmick 395.
Schmidt, A. (Gotha) 194.
Schmidt, A. (Stuttgart) 167. 168.
Schmidt, E. 43. 321.
Schmidt, F. 332.
Schmidt, J. 158.
Schneider, E. 450.
Schneider, O. 425.
Schönfeld 1.
Schöpf 473
Schreiber 276.
Schück 183.
Schurtz 372.
Schuster 10.
Schwahn 56.
Schwalbe 388. 398. 399. 400.
Schweinfurth 405. 482.
Schweizer 32. 226.
Scoppewer 360.
Scoresby 296. 297.
Scott 295. 298.
Secchi 7. 8. 9. 16.
v. Seebach 166. 168.
Seeland 390.
Seeliger 13.
Seibt 303.
Seidel 337.
Seleucus 303.
Semper 469. 499.
Sendtner, M. 288.
Sendtner, R. 403.
Seneca 153. 156. 159. 171. 173. 367.
Senft 490.
Sexe 428.
Shaw 376.
Siau 295.

Sieger 271.
Siemens, Werner 52. 179. 189. 202. 242.
Siemens, William 34. 202. 276.
Sigsbee 315.
Sjögren 379. 394.
Siljeström 210.
Simonow 185.
Simony 328. 411.
Simpson 444.
Skylax 281.
Slowzow 419.
Smith 81.
Snellius 22.
Sohncke 222. 223. 297.
Solinus 142.
v. Sonklar 337. 441. 444. 492.
Sonne 366.
Soret 330.
Soulavie 58.
Soyka 336. 337. 338.
Spallanzani 301. 302.
Spartacus 145.
Spencer, F. W. 239.
Spencer, H. 58.
Spitaler 256.
Sprengel 251.
Spring 62. 124. 222. 263. 282.
Sprung 239.
Stahlberger 303.
Stanley 355.
Stapff 53. 125. 363. 368. 447. 468.
Stark 487.
Steenstrup 95.
Stefan 248.
Stefanovič von Vilóvo 462. 463.
Steinheil 178.
Steno 79.
v. Sterneck 37. 38.
Stevenson 240. 299.
Stjeltjes 43.
Stipriaan Luiscius 275.
Stokes 49.
Stolička 151.
Stoppani 152.
Strabon 367.
Straton 171.
v. Strombeil 178.
Struve 57.
Struyck 273.
Studer, B. 94. 367.
Studer, Th. 499.
Stur 485.
v. Suckow 402.
Suess 97. 103. 110. 112. 115. 119. 125. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 150. 170. 242. 419. 428. 499.
Supan 236. 257. 265. 358. 435. 457.
Svenson 347.
Swarowsky 364.
Swedenborg 12. 127.
Sykes 260.

T.

Tarry 19.
Tempel 3.
Terby 17.
Thévenot 31.
Theodorich (Mönch) 231.
Theophrast 235. 243. 302.
Thomson 55. 56. 221. 274. 276. 311. 385.
Thorpe 177.
Thoulet 404. 431.
Thury 399.
Tietze 327. 449. 455. 478. 481.
Tilas 411.
Tillo 359. 435.
Tissandier 213.
Töpler 192. 193.
Tommasi-Crudeli 336.
Tornöe 284. 285.
Toula 348. 440.
Traumüller 230.
Trautschold 134.
Trembley 496.
Tresca 63. 372.
Trogus Pompejus 148.
Tromholt 211.
Trouillet 398.
Tschermak 17. 135.
Tyler 134.
Tyndall 232. 383. 421.

U.

Ule 262. 472. 487.
Ulloa 233.
Uziglio 283.

V.

v. Valvasor 478.
Varenius 308. 314. 332. 338. 494.
Varro, Terentius 233.
Venetz 391. 483.
Verbeek 144. 170. 276.
Vettin 245.
Vieth 176.
Vinzenz von Beauvais (Bellovacensis) 401.
Violle 253.
Virlet d'Aoust 297.
Vitruvius 340.
Vogel, H. C. 9. 11. 15. 227.
Vogel, P. 243.
Vogt 129.
Volger 85. 103. 174. 336. 372.
Volta 220. 225.
Vossius 314. 321. 338.

W.

Waagen 87. 89.
van der Waals 59.
Wadsworth 57.
Wagner, G. 163.
Wagner, H. 272.
Wagner, M. 142.
Wahlenberg 367.
Wallmann 330.
Walther 364. 404. 405. 415. 416. 427. 431. 481. 482. 497.
Wankel 95.
Watt 34.
Weber, C. L. 193.
Weber, E. 294.
Weber, L. 191. 285.
Weber, W. 210. 294.
Weihrauch 44.
Weiss, C. S. 103.
Weiss, E. 3.
Wells 221.
Wermbter 121.
Werner 79. 80. 85. 101. 154. 453.
Wessen 418.
Wex 262. 365.
Weyer 184. 226.
Weyprecht 293.
Whewell 310.
White 83.
v. Widmannstätten 5.
Wiebel 353. 425.
Wiedeburg 342.
Wiedemann 231.
Wiener 253.
Wijkander 209.
Wilcke 196.
Wild 160. 179. 234. 250. 283.
Williamson 270.

Wilsing 40. 41. 42.
Wimmer 472.
Winkelmann 54.
Wisotzki 273. 355. 420. 447.
Woeikow 259. 263. 264. 393.
Wohlgemuth 205.
Woldrich 336.
Wolf, C. v. 210.
Wolf, J. 289. 311. 318.
Wolf, R. 178. 194.
Wolf, Th. 132.
Wollaston 18.
Wollny 221. 263. 336. 403.
Woltmann 360.
Wood 142.
Woodward 81.
Wooster 293.
v. Wrangell 243. 370.
Wright 12.
v. Wroblewski 58.
Wülfer 494.
v. Wüllerstorf-Urbair 479.

Y.

Young 310.
Yvon Villarceau 34.

Z.

Zambra 288. 289.
Zantedeschi 227.
Zarathustra 481.
Zeune 126.
v. Zittel 81. 94. 327. 348. 482. 487.
Zobrist 489.
Zöllner 10. 11. 12. 15. 33. 161.
Zöppritz 49. 56. 59. 61. 285. 297. 323. 324. 352. 419. 422. 452.
Zona 215.
Zschokke 365.

Berichtigungen.

S. 1 Z. 13 v. u. ergänze nach „zerfallenden“: „*mittleren Sonnentages* und des etwas kürzeren“.
S. 69 Z. 11 v. o. l. „$\sin(90^0 - l\,n)$“ statt „$\cos(90^0 - l\,n)$“.
S. 74 Z. 8 v. o. ergänze nach „sich“: „scheinbar“.
S. 92 Z. 17 v. u. l. „12“ statt „20“.
S. 96 Z. 20 v. o. l. „Eozän“ statt „Pliozän“.
S. 127 Z. 3 v. u. l. „X“ statt „IX“.
S. 137 Z. 4 v. u. l. nach dem Gedankenstriche: „für den Gipfel wäre
$x = c\,[\log(h + \sqrt{c^2 + h^2}) - \log c]$, y gleich der absoluten Berghöhe h“.
S. 149 Z. 1 v. u. l. „XVII“ statt „XIV“.
S. 151 Z. 23 v. o. l. „Schneeberg“ statt „Scheeberg“.
S. 152 Z. 22 v. o. l. „Mauna Loa und Mauna Kea“ statt „Mauna Lea und Mauna Koa“.
S. 160 Z. 11 v. o. l. „1348“ statt „1343“.
S. 166 Z. 6 v. u. l. „konstant wachsende“ statt „konstante“.
S. 203 Fig. 74 l. zur rechten „Gneis“ statt „Diorit“.
S. 287 Z. 7 v. u. ist zu streichen „mit“.
S. 313 Z. 17 v. u. ergänze nach „Zambesi“: „resp. Quaqua“.
S. 323 Z. 23 v. o. l. „XVII“ statt „XVIII“.
S. 363 Z. 15 v. o. l. beidemale „w“ statt „m“.
S. 416 Z. 26 v. u. l. „Entfernung zweier“ statt „Höhe eines“.
S. 443 Fig. 144 l. „Z“ und „z“ statt „S“ und „s“.



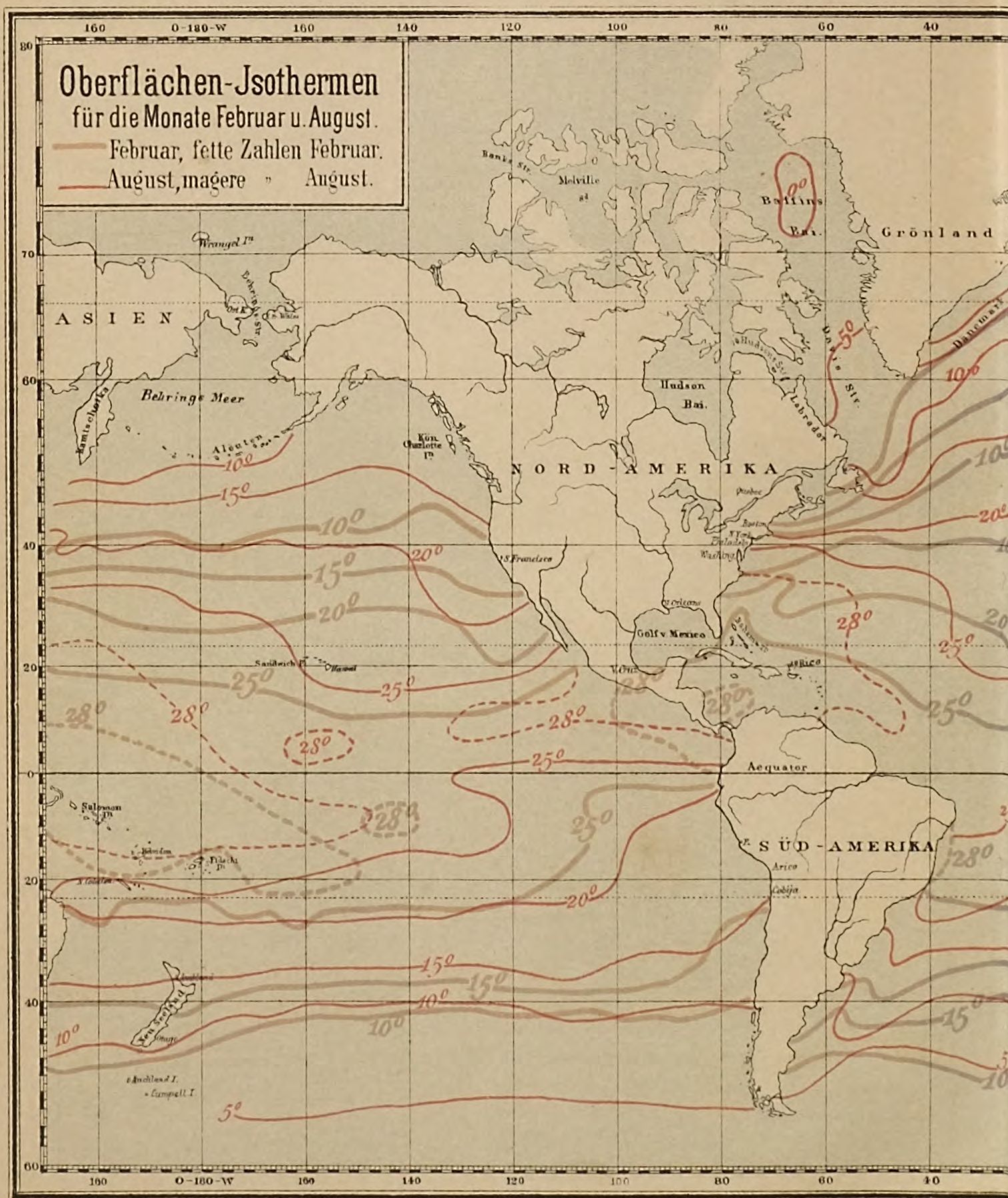
a a, u b cirrus, *a,,* cirrus-Fäden, *c* cirro-cumulus, *d* cirro-stratus, *e* cumulus, *f* stratus, *g* cumulo-stratus, *h* strato-cumulus unten Wulstcumulus, *i* Nimbus, *k* Gewitterwolke nach Cl Ley.

Lith. Anst. v. A. Eckstein, Stuttgart

Tafel II.

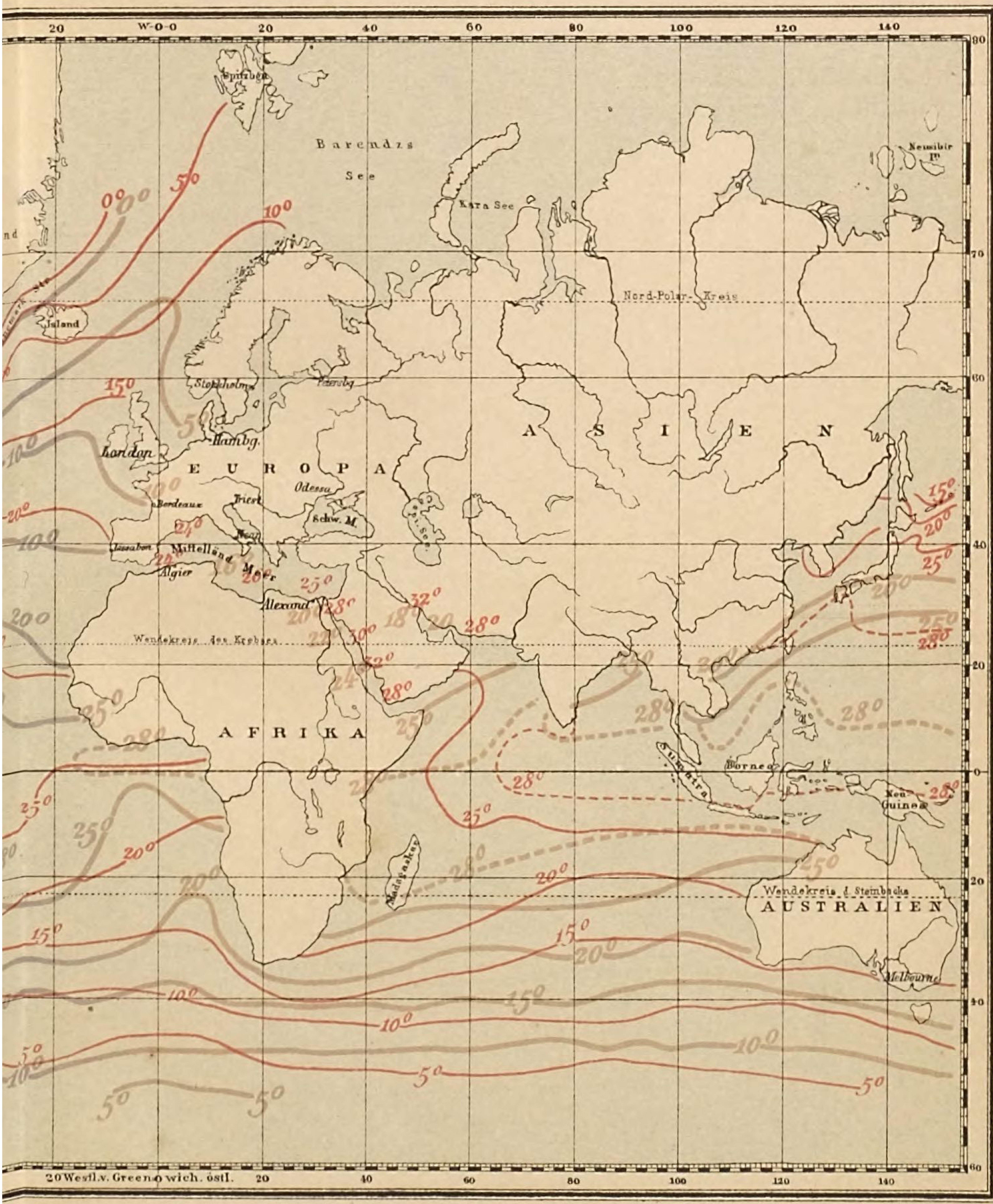


DER BISHOP'SCHE RING. (MITTAG)



Günther Physik. Geographie.

Tafel III



Lith. Anst. v. A. Eckstein, Stuttgart.

H. [illegible]
München.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Günther, Siegmund,

Lehrbuch der physikalischen Geographie

Stuttgart 1891

Phys.g. 152 r
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11880736-5